電気に強くなる

インスタント電気学入門

橋本　尚

BLUE BACKS

「電気はどうも苦手……」では困ります

電気は私たちの影のようなもの……どこへでもついてまわります
はんらんする電気器具はいうに及ばず　我々の体の中にも電気が流れています
電気とは何か……エッセンスを知ってしまえば飼いならすのは簡単
石綿をまかずにソケットの配線をする……これは電気のイロハを知らぬ人
ネームプレートを見て電気器具を買う……これは電気の通でしょう
本書は全て身近な所から例をとってまとめられた電気知識のエッセンスです

141

電気に強くなる

インスタント電気学入門

橋本　尚著

ブルーバックス

カバー写真・林　巳沙夫
カ　ッ　ト・永美ハルオ

はじめに

本書は、一人でも多くの人々に電気を身近なものとして納得し、なじんで頂くために書かれたものである。

ごぞんじのように、電気はたやすく光や熱や力にかわるので便利であり、われわれの文化的生活をいたる所で支えている。しかしこの便利な電気も、一歩立ち入って理解するとなると、大方の人々はにが手のようである。たとえば「電気は目に見えないから、どうも理解しにくい」とか、「さわるとピリッとくるので苦手」だとか、その言葉はさまざまである。

しかし、現代人は四六時中電気にとりまかれて生活しているわけだから、これに全く無知であるというわけにはいかない。現代において電気がいつまでも不可解なもの、こわいものであっては不便この上ないことであろう。

そこで本書は、電気の基本的な問題の核心を伏せず、しかも電気を専門としない一般の方々に、電気の面白さを身近に知って頂き、少しでも暮らしの役に立つようにまとめたものである。

記述に当たっては、電気のエッセンスを身近なできごとにたとえながら、ごく平易に話を進めた。したがって、教科書のように厳密に体系立ってはいない。

また、科学的常識には往々にして迷信のようなものがつきまとう。たとえば電気の絶縁物といえば全く電気を通さないと思いこむ。しかしほとんどの場合、電気は少しは流れており、その値は使用電圧や温度や水分の含みぐあいによって大幅に変化する。また電線に流し得る「許容電流」も、周囲の温度や配線方法によってかなり変化するものである。そして、そのような極端に割り切った信じ方は実際に危険な場合も多い。本書ではその点も強調して、柔軟で正確な知識を得られるよう、気を配ったつもりである。

最後には「家庭電化のポイント」と「未来の電化」の二章を付け加えた。これは他の章に述べた原理の解説とかけはなれた内容のように見える。しかしこれは電化のすべてというわけではなく、他の章で述べた〝原理の補足〟としての意味を持たせてある。

さて以上のような趣旨でまとめたつもりであるが、はたしてその通りにできあがったかどうか心配である。読まれた方の御叱正、御指導を頂きたいものと思う。

一九六九年　七月

橋本　尚

□ もくじ □

1 電気入門

2 交流の話

3 電圧、電流、抵抗

4 電気の通り路

5 電気エネルギーの正体

6 高周波の世界

7 電気のトラブル

1　電気入門

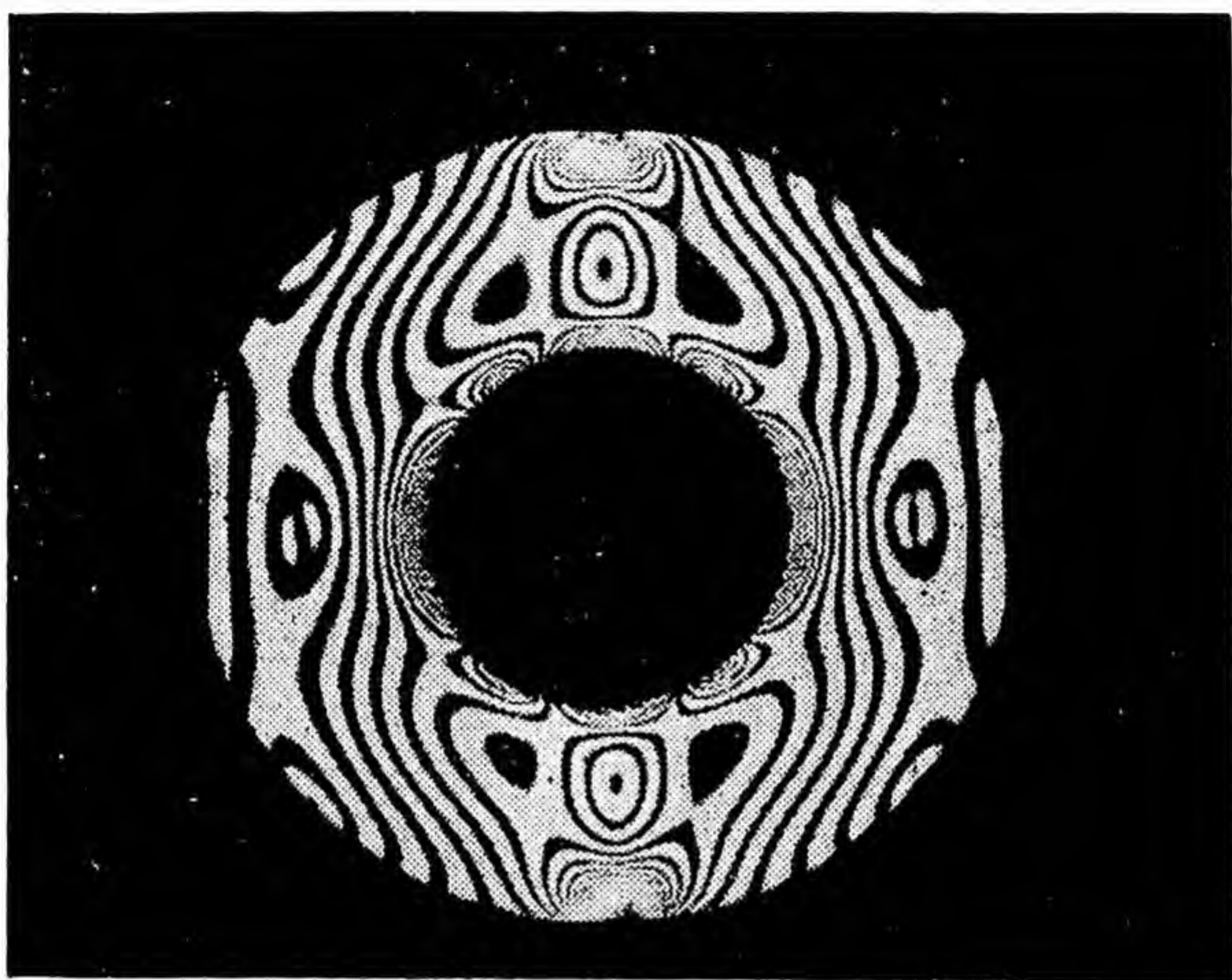
工夫しだいで見える電気

まず、図を見て頂こう。変なしま模様の写真である。これは光弾性写真といって、エポキシ樹脂の材料（弾性体）に外から上下の直径方向に力をかけ、できたひずみを偏光線をかけて撮影したものである。このひずみは肉眼で見ただけではわからない。

これは厚肉のパイプの断面模型であって、これから実物パイプでの力のかかり具合が検討される。

圧力や圧縮のエネルギーが加わっても外観上は何も変化しないようなものでも、こうして少し細工をすれば、加えられたエネルギーによるひずみの分布ぐあいを見ることができる。

ごぞんじのように、電気は大変身近なものだ。電気を利用したいろいろな電気器具や乗り物は枚挙にいとまがないし、そのほか人体の中にも数多くの「発電所」がある。心臓や脳、筋肉などがそれである。そこから生ずる電流は、一般に時々刻々向きを変える交流であり、電圧は数ミリボルト程度である。ガルバニの発見したカエルの神経の切断面と正常面との電位差、あるいはリンゴの果皮と果実の間の二〇ミリボルト程度の電位差も、同じような生物電気の好例である。

ところがときどき、「電気は見えないのに、その存在がよくわかるものだ」と言われる。中には「目に見えないのに、電気が流れているというのは、少し独断ではないか」と迫る人もある。

パイプ模型の光弾性写真

その疑いはまことにもっともなもので、昔のえらい学者たちにしても、電気の存在を信ずるに至るまでには相当の苦労があったらしい。

しかし冒頭に述べた例のように、目には見えない電気でも、存在は付帯的におこる現象によって説明ができる。

幸いなことに電気は、その通り道にじゃまものの抵抗があるとき、簡単に熱（ジュール熱）を出す。たとえば電熱器がそのよい例である。

また、電流の流れている電線がプツンと切れると、鋭い音とともに火花が出たり、切り口と切り口がアーク（電弧）でつながったりしてわれわれを驚かす。電気がそのまま空気中を流れ続けようとする「放電現

象」が起こるからである。その昔、地中海の船乗りたちを畏怖せしめたセント・エルモの火もこの放電の一例である。

さらに重要な現象は、電流を通じた電線のまわりに、磁石の場「磁界」ができ、それがコンパスの磁針をふらせることだ。

これらはいずれも電気に特有な現象で、電気の存在を予知させるものである。

しかしまた、「電気があるからこのような現象が共通して起こるのだ、とは即断できないのではないか」と言われそうだ。

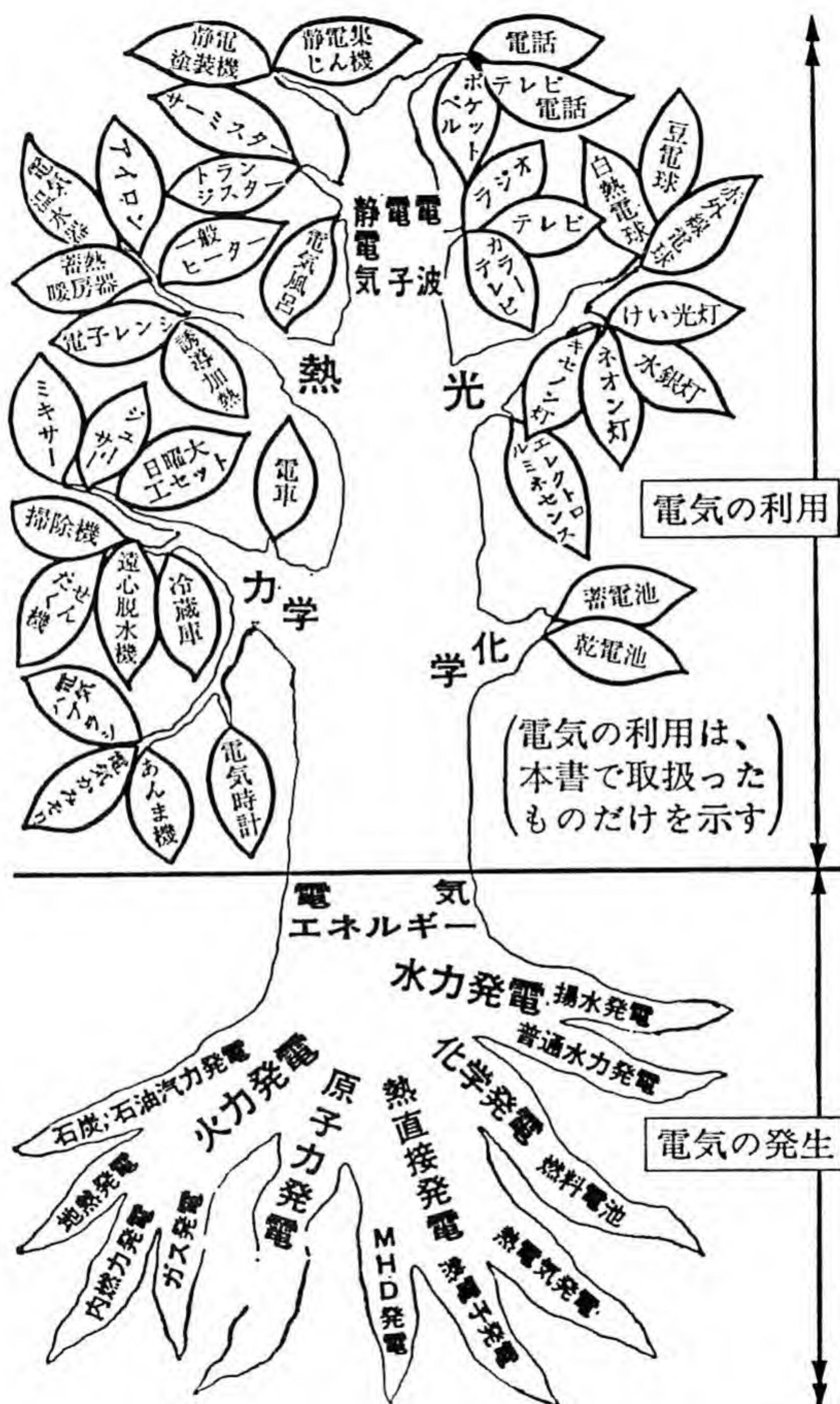
なるほど、雷の電気と生物電気とが一見して全く違った形をとるように、電気と一言で片付けるには、それによる現象はあまりに種類が多い……。

電気は転身の名人

われわれはよく「電気を使う」と言う。これは一体どういうことだろうか。

実は電気は、そのまま電気エネルギーとして使われることはほとんどない。われわれの身辺でその例をさがしても、まずみつからないだろう。大部分の場合が、それを他のエネルギーに変えて用いている。

電気に付随する現象が多いことはすでに述べたが、実はそれは、電気ほど他のエネルギーへう

静電塗装機
静電集じん機
電話
ポケットベル
テレビ電話
サーミスター
トランジスター
アイロン
一般ヒーター
電気風呂
静電気
電子
電波
ラジオ
テレビ
カラーテレビ
豆電球
白熱電球
赤外線電球
蓄熱暖房器
電子レンジ
誘導加熱
熱
光
けい光灯
水銀灯
ネオン灯
キセノン灯
エレクトロルミネセンス
ミキサー
ジューサー
日曜大工セット
電車
掃除機
だっ水機
遠心脱水機
冷蔵庫
力
学
化
学
蓄電池
乾電池
電気の利用
電気の利用は、本書で取扱ったものだけを示す
電気時計
あんま機
電気
エネルギー
水力発電
揚水発電
普通水力発電
石炭;石油汽力発電
火力発電
原子力発電
熱直接発電
化学発電
燃料電池
地熱発電
内燃力発電
ガス発電
MHD発電
熱電子発電
熱電気発電
電気の発生

電気エネルギーの用途

まく転身する名人はいないからである。しかも細い電線をたよりにしたり、あるいは電波の形で物質を媒体とせずに、簡単にそのエネルギーが伝達できる。速度は光の速度（毎秒約三〇万キロメートル）と同じであり、極めて速い。

こうして電気は、複雑な人間社会にはおあつらえ向きの便利なエネルギーとなる。ただ残念なことに、電気エネルギーの形では大規模に貯蔵できない、という欠点がある。

まず、最初に考えられる電気の転身の対象は熱である。電気は抵抗の中を通るとき「ジュール熱」を発生する。これは最も簡単な転身で、しかもエネルギー変換効率は一〇〇パーセントである。無駄は全くない。しかし実際には、できた熱をうまく利用することが肝要である。

また電気から光への変換も、かなり簡単な装置、たとえば電球で実現できる。もっとも変換効率は一〇〇パーセントではない。そのうちの大部分が熱に変わっているからである。

電気を力学エネルギーに変えるにはモーターを用いるが、これも他の方法（たとえばディーゼル・エンジンによる熱→機械力への変換）よりはるかに簡単である。

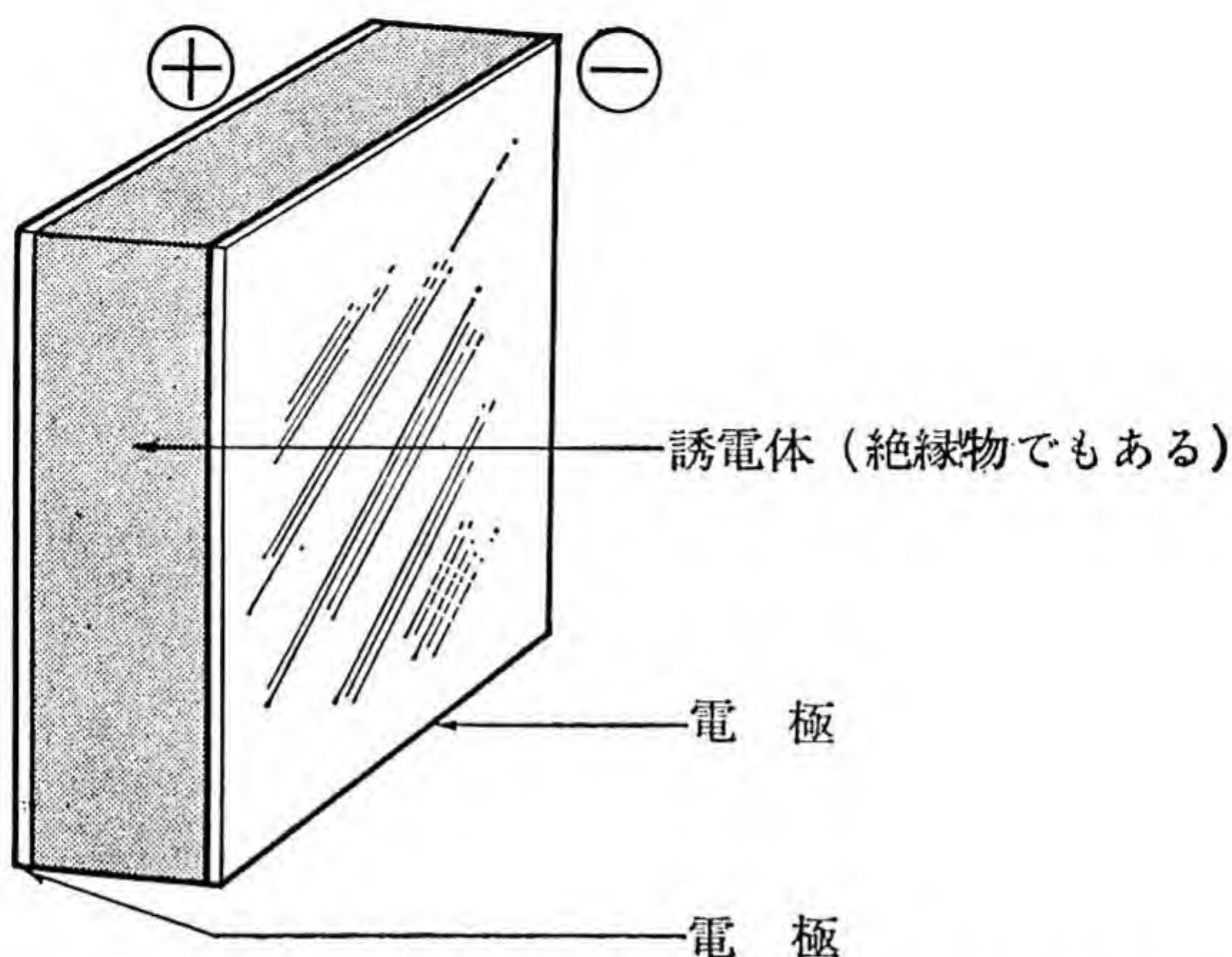
ところが反対に、他のエネルギーを電気エネルギーに変えるのは簡単ではない。たとえば、熱エネルギーを電気に変えるには、ごく小規模な場合以外は、まず火力発電所の出現となる。ボイラーで重油をたき、水を水蒸気にして蒸気タービンを回し、発電機を回すという具合である。光から電気を作るのも、ごく小規模な場合以外は、現状ではむずかしい。

つまり、世の中のエネルギーは、変わり易い方向と伝わり易い方向とがきまっている。たとえば、インクの一滴を水に落とせば、インクは広がってしばらくすると全体が一様になる。しかし一様なインクの溶液から、インクがしだいに凝集して一滴にまとまることは、自然には起こらないようなものである。そして電気エネルギーは、大変都合のよい方向をむいている。

熱は、高温部から低温部には伝わるが、その反対は自然には起こらない。部屋に電熱器をおくと、冷たい室内の空気を自然に暖める。しかし逆に、室内の空気の熱をそれより高温の屋外の空気に、ルームクーラーなどの助けなしに放り出すことは決してできない。

余談になるが、火力発電所では、蒸気タービンから出た多量の水蒸気を海水で冷やして水にもどし、またそのとき体積の急減を利用して真空を作る。そのため、燃料のもつ熱エネルギーの五〇パーセント近くが、海水に捨てられることになる。これは、蒸気の熱をそれより低温の海水に捨てるほかないからで、もし、この熱を自然に高温の水などに吸収させることができたら、大変便利になるだろう。

このように電気エネルギーは、われわれがそれを使う場合に大変好都合な性格をもっており、それゆえに、人生の忠実な友達となりうるということが理解できるだろう。

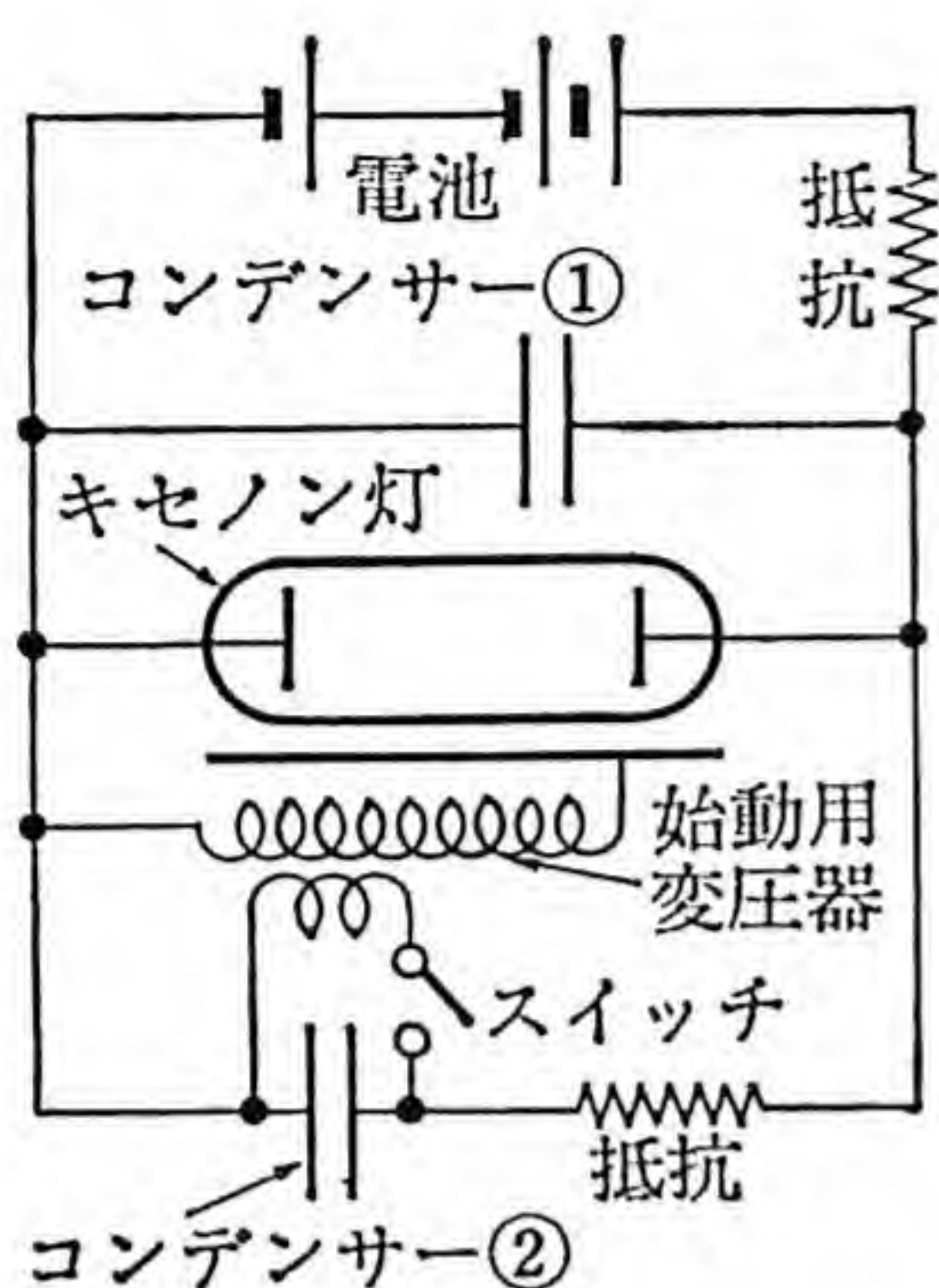
しかし、さらに興味深い電気の性格や使い方はこれからである。それは順を追って見ていくことにするが、まず電気の持つ「静」と「動」の二つの側面に目を向けてみよう。

コンデンサー。２枚の電極の間にある誘電体に静電気がたくわえられる

動電気と静電気

電気は普通ためられない。

蓄電池は電気をためるように見えるが、実は電気を化学エネルギーに変えて（物質の性格を変えて）ためている。使うときはまたこれを、瞬時に電気エネルギーに変えて取り出す。その意味では、蓄電池は便利な「エネルギーの変換兼貯蔵機械」なのである。

このように電気がためられないのは、電気をになう「電子」が移動している――つまり電流が流れている――場合であって、電子の移動を止めれば容易にこれをたくわえることができる。

後に述べる「コンデンサー」がそれだ。

東西両陣営の冷たい戦争、力の均衡のように、また戦国時代の武将のように、そこではプラスとマイナスの両極の電気同志が互いに絶縁物（非武装地帯）をはさんで、けんせいし、にらみ合っているようなものである。

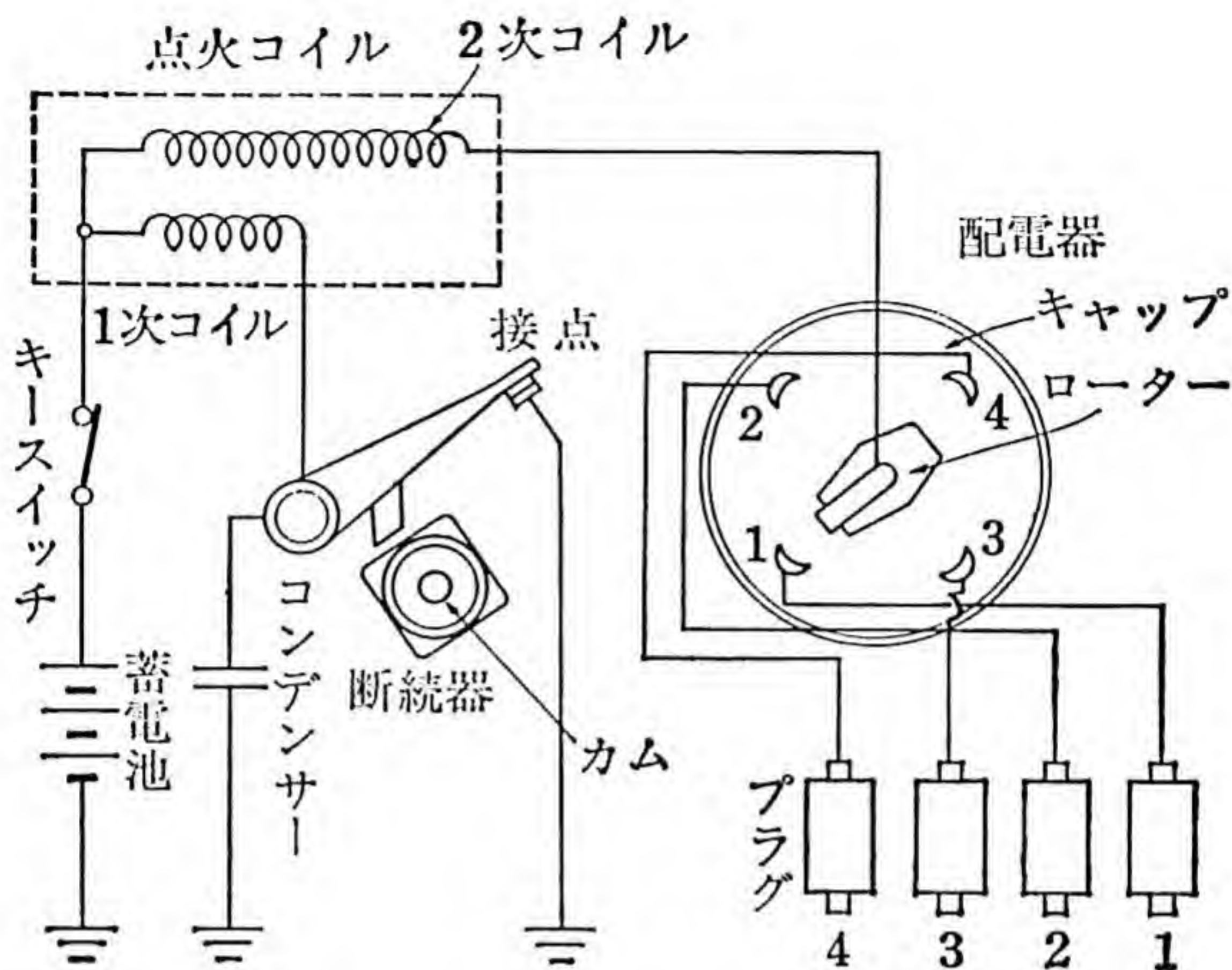
このように電子の移動がなくなった状態の電気を「静電気」と呼ぶ。

次に電気のたまった（充電された）コンデンサーの両極（両端）を電線でつないでやると、電子が移動して瞬間的に電流が流れる。これが静電気に対応する「動電気」である。

しかし、これはすぐ減衰してなくなるので、連続して使いたいときは、次から次へとコンデンサーに電気をためてやらねばならない。この操作が「充電」である。充電とは、コンデンサーに電流を通じて電気をためることで、いわば動電気を静電気に変えることだといえる。

ところがコンデンサーからの「放電」電流は、充電と放電をくり返すのでのこぎり状に変化する。そこで連続した電流を使うには、コンデンサー以外の連続電源である発電機や蓄電池が必要になる。

写真用ストロボ装置の一例

コンデンサーを用いる利点は、充電をゆっくり

ガソリン・エンジンの点火装置

行ない、瞬時に放電できることである。
写真のストロボはその応用で、電池で五〜二〇秒間にコンデンサーを充電し、一〇〇〇分の一秒単位で瞬時放電してキセノン放電管を動作させ、大きな光を得ている。
この放電管は、高圧のキセノンガス中の放電を利用したランプで、自然の昼光によく似た光を出す。最近、交叉点などの広場照明に用いられている。またコンデンサーは高速のガソリンエンジンの点火プラグにも用いられて、点火のおくれを解消している。

にわとりが先か、卵が先か

図は、自動車の点火プラグ用のコイルで、電池につないだ一次コイルと、それよりは

るかに巻数の多い二次コイルが組み合わせてある。エンジンの回転と共に、一次側の電流を高速度で断続し、二次側に高い電圧を間欠的に出すしかけである。

この例は、コイルの中を通る磁束を急変させて電気を起こす「電磁誘導作用」の応用である。

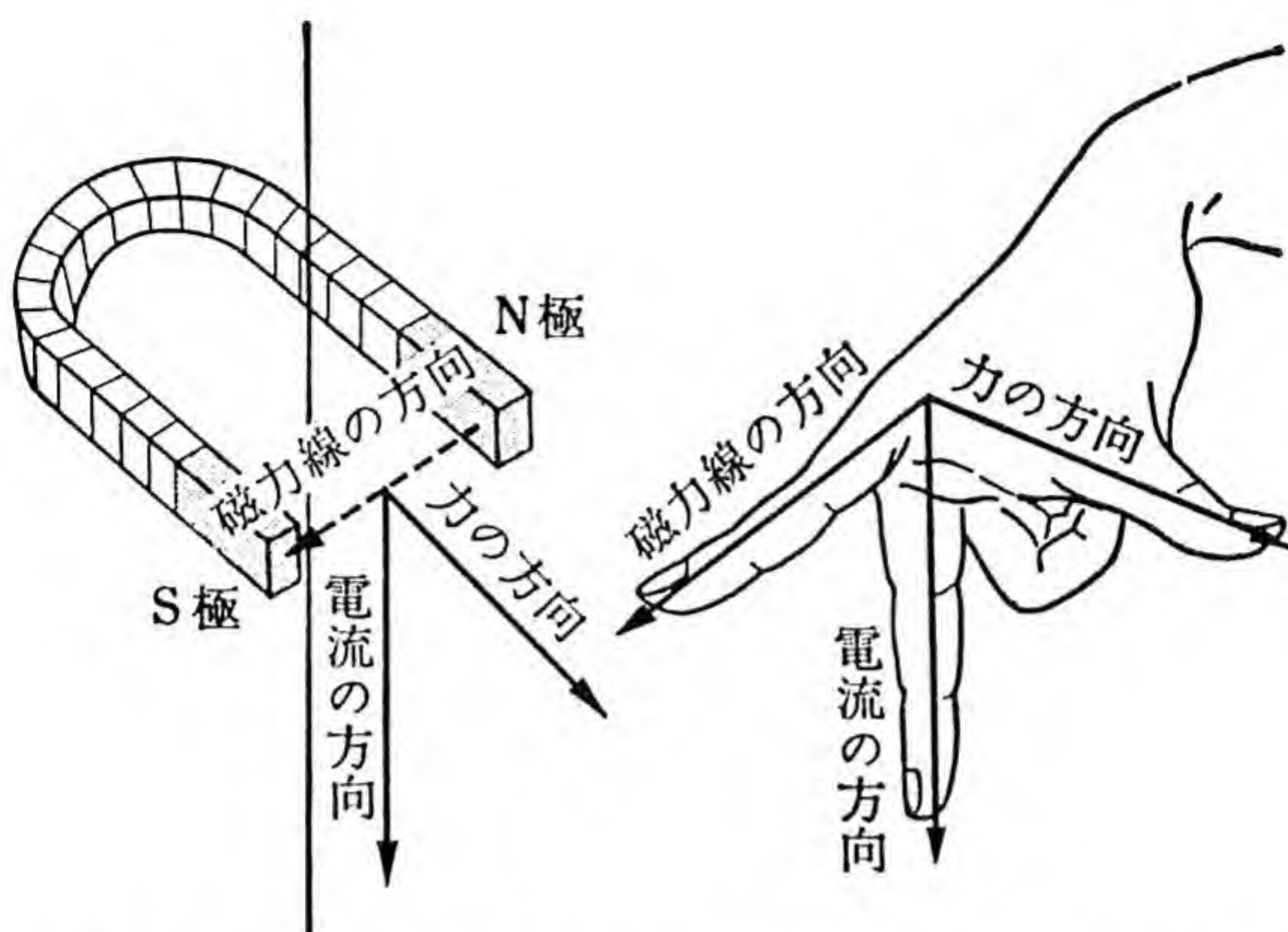
余談になるが、ガス器具の自動点火器に、パチンとハンマーをたたくと、火花が出てガスに火をつける装置がある。

これは、電磁誘導作用ではなく、「圧電作用」と言って、特殊な物質に、外から機械的に圧力をかけると電圧が出る作用を利用している。

ところで製鉄工場では鉄のかたまりをつり上げるのに大きな電磁石を使っている。電磁石とは、鋼鉄にコイルを巻き、これに直流や交流を通すもので、ワイヤロープをひっかけたりする手間がいらないからなかなか便利である。

少し大きい釘に細い電線を巻き、これに乾電池の電流を流して見よう。釘は磁石になり、もう一つの釘を吸いつづけるだろう。

このように、電気は簡単に磁気を作るが、その反対も可能である。

一八三一年にイギリスの電気学者ファラデーは、実験的に、一つの電線をコイル状に巻いて、これを貫く磁気の流れ(磁束)を増減すると、コイルに電流が流れることを発見した。これが先の点火プラグのコイルや発電機に当たる。

電磁誘導作用。磁力線を導体がよこぎると導体に電気が流れる。フレミングの右手の法則は誘導電流の向きを示す。モーターの場合は左手が使われる（フレミングの左手の法則）

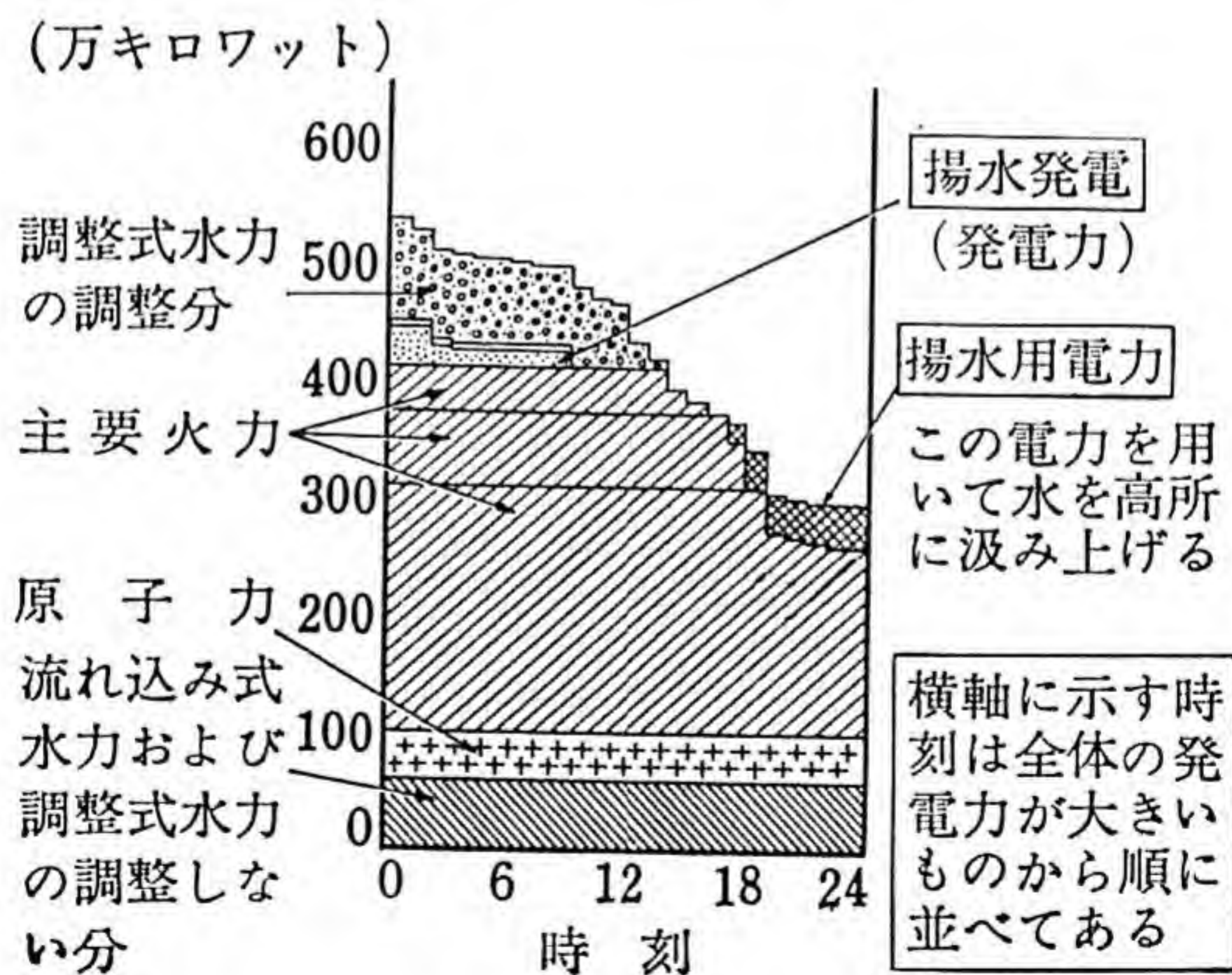
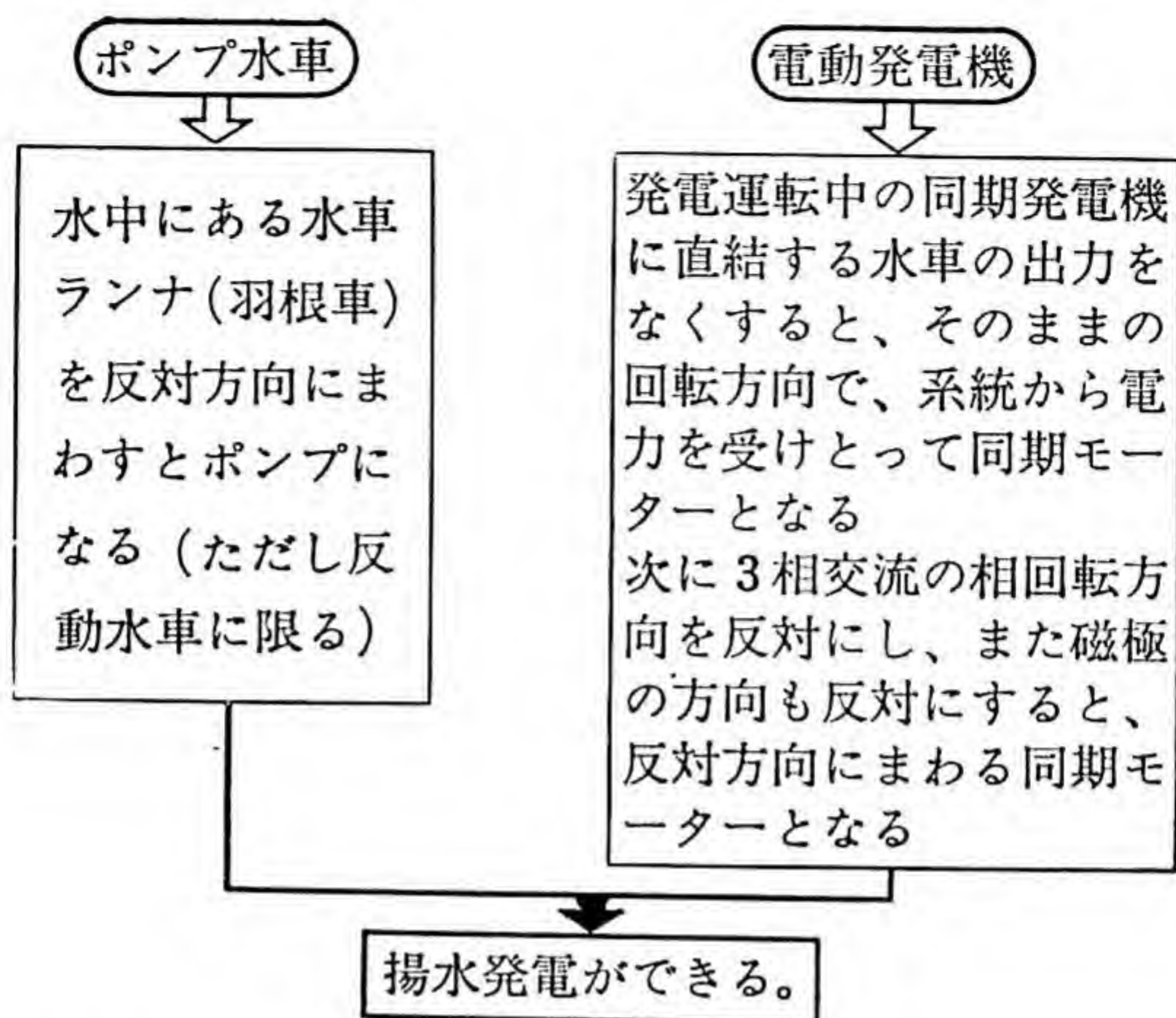
この作用を「電磁誘導」と呼ぶ。電気と磁気は〝卵とにわとり〟のような因果関係にあるわけである。

今日の電磁形マイクロフォンのように、数マイクロワットの電気を発生するものから、数十万キロワットの大型の発電機に至るまで、機械エネルギーから電気エネルギーへの変換のほとんどすべては、この因果関係の利用である。

さきに、電子が動くと電流が流れると述べたが、電子は電気を持っている小さい粒子で、その質量（静止質量）は 9.1091×10^{-28}（10^{-28}とは、$\frac{1}{10^{28}}$のことである）グラムという軽いものである。そして電子の持つ電荷（電気量）は電気の量子、つまり最小単位である。

電子が集まると、いくらかの電荷（電気のかたまり）となる。その電気量を表わすのに「クーロン」という単位を使う。水で言えばリットルなどの体積の単位に当たる。
そして、一秒間に一クーロンの電荷が移動すると、一アンペアの「電流」が流れたと考える。アンペアとはフランスの物理学者の名をとっている。
電流とは〝動電気の量〟を示す一つの目安なのである。

動電気をためるには

揚水発電所を考えよう。
一番多く使われる動電気がためられないのなら、ほかのエネルギーに変えてためてはどうか、という考えからできたものが揚水発電である。
一般に電気の使用量は昼間に多く、夜間は少なくなる。ところが発電所の方は、そう簡単に使用量に発電量を合わせることができない。特に火力発電所は、いつもフルロードで発電を続けないと効率が悪い。スタートやストップも水力のように簡単に行かない。
そこで揚水発電所は昼間、発電し、夜間は火力発電所や原子力発電所の余った電気を使って、逆に発電機に電気を与えて電動機として逆転させ、これにつないだ水車をポンプに使う。普通の

揚水発電の運用例(下)と揚水発電のできるわけ(上)

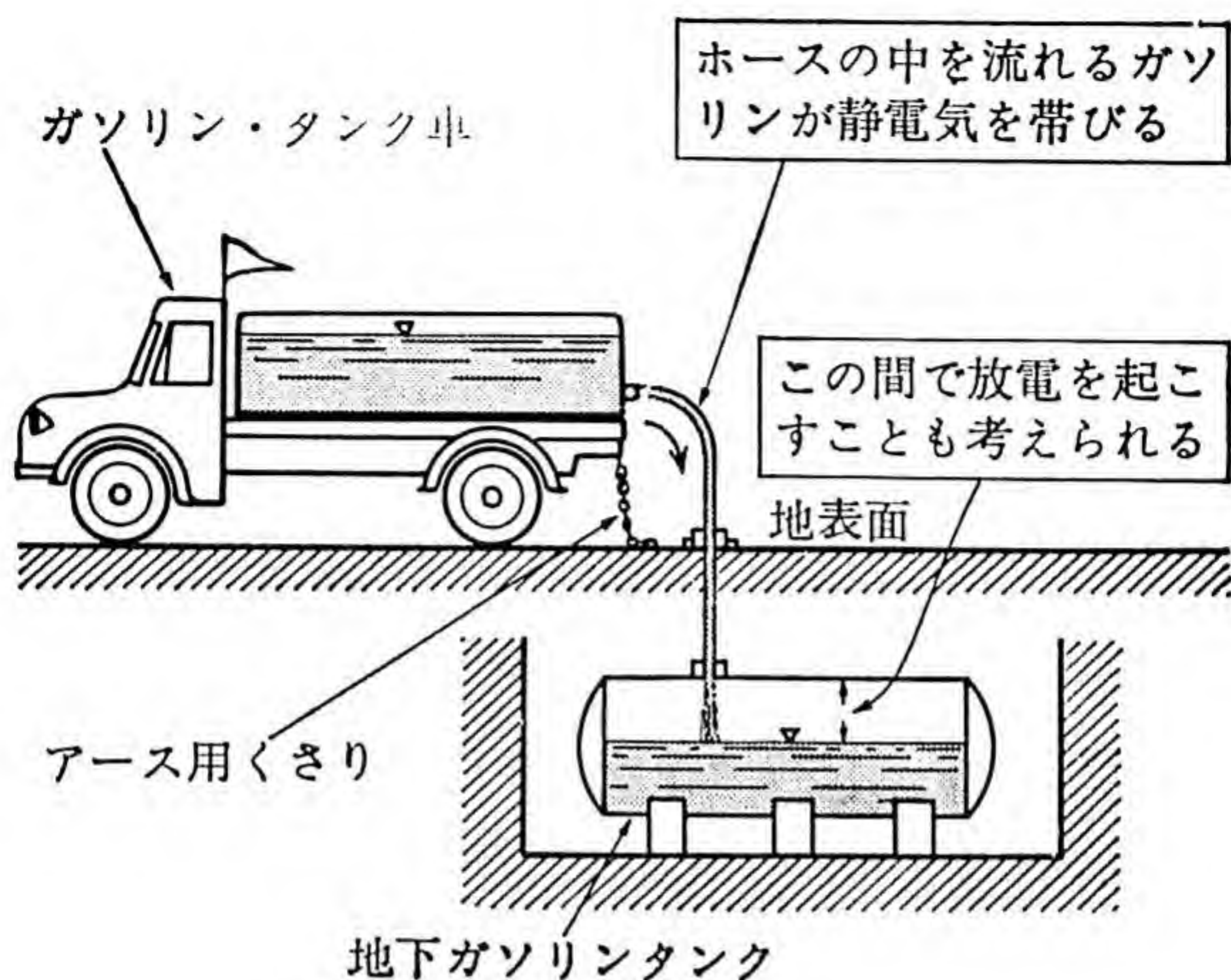
水車を水の中で回すとポンプになるから、下の池の水を上の池へくみ上げる。そして必要なときその水を落として、また発電をする。

このように発電力をできるだけ使う方に合わせると同時に、使う方も何とか昼夜平均して使ってもらおうというわけで、深夜（たとえば二二時から朝の六時まで）温水器や蓄熱暖房器に使う電気料金を安くする制度がスタートしている。同じ熱エネルギーとして使うものなら、早く電気から熱に変え、熱エネルギーとして貯蔵しておこうという仕掛けである。

また、上水道用水源地を丘陵地に作り、深夜、川から汲み上げておき、昼間に自然流下で使う方法も考えられている。工場用などの電気料金は、負荷率が高いと割引きされる例があったが、今日では廃止されている。海外では家庭用電気料金にまで「負荷率」を適用したケースがある。負荷率とは、ある期間（たとえば一日）の間の最大電力で平均電力を割った値（小数）で、これが大きいほど、平均して電気を使うことになり、電力会社の設備の利用率がよくなる。

静電気か、動電気か

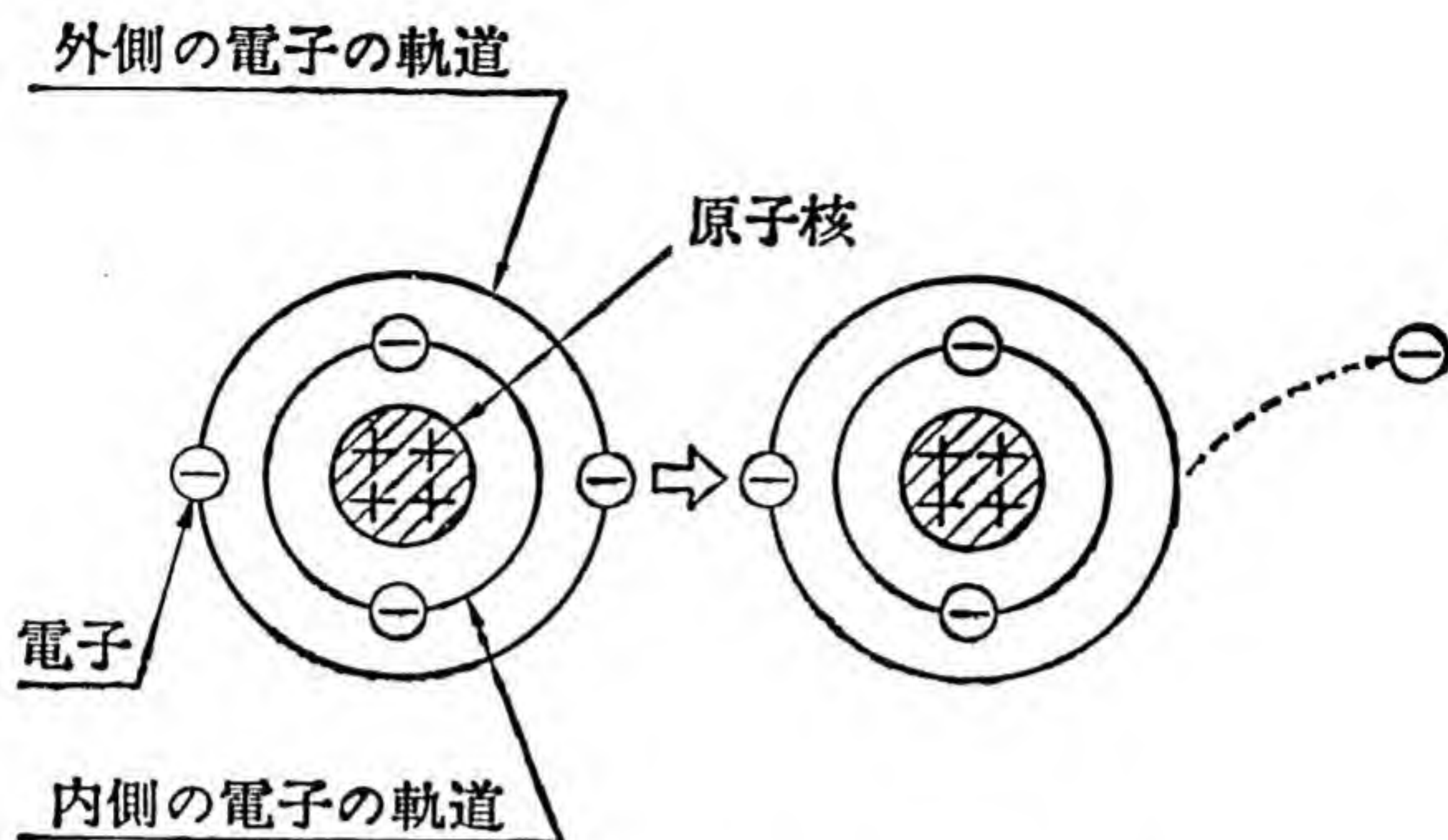
妙齢のご婦人が下着を脱ごうとするが、肌着とぴったりくっついてなかなかはなれないことがある。見ている方は悪くないだろうが、ご本人は大変な迷惑である。

首にかけた「こはく」の首飾りが衣服とすれ合って電気を帯び、近くのごみを吸いとる現象も

ガソリン・タンク車の危険

よく聞かされる。電気（Electricity）の語源がギリシアの「こはく」から出ていることがうなずける。

これらの例はまさつによって静電気が起こり、プラスとマイナスの静電気が互いにくっつき合おうとするからである。

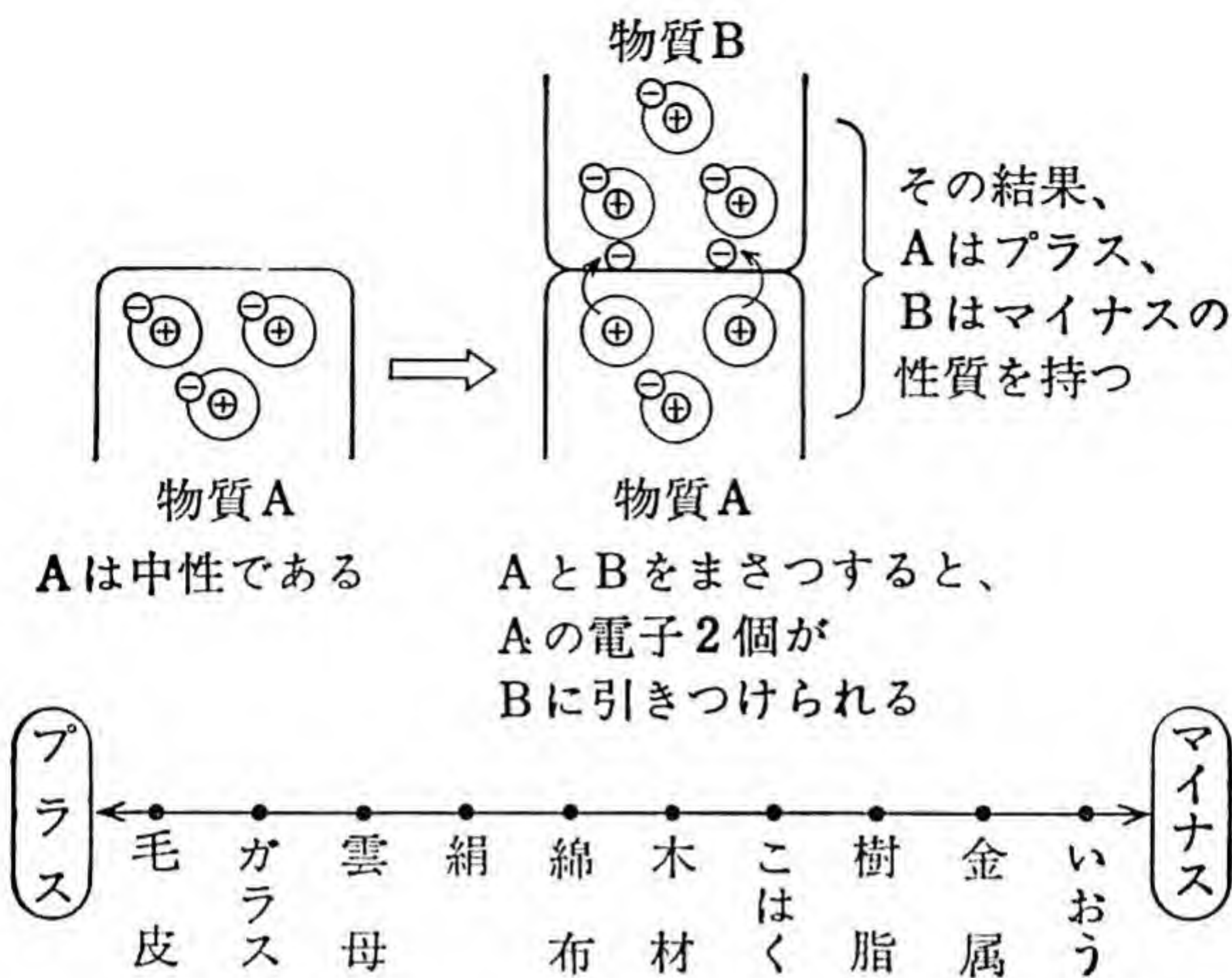
ガソリン・タンク車が、ガソリン・スタンドの地下タンクへガソリンを流し込むときに、ガソリンに静電気がたまることは十分に考えられる。ガソリンがホースの中を通るとき、絶縁物であるガソリンとホースとの間でまさつ電気が起こるからで、ガソリンの中とタンクとを金属で結んだときなどに放電する恐れがある。

以上の例ではいずれもまさつする物体を導電性のものにするか、アース（接地）し

原子の帯電。この場合はプラスの電気が目立つことになる

ておけば問題ない。導電性にすると、電気が逃げてたまりようがないからである。衣服の場合は、静電防止剤という導電性のくすりがあるようである。

さて、二つの物質をこするとなぜ電気が起こるのだろうか。いや、電気が起こるのではなく、電気が目立つのにすぎない。もともと、すべての物質は電気のおかげででききあがっているともいえるのだから。

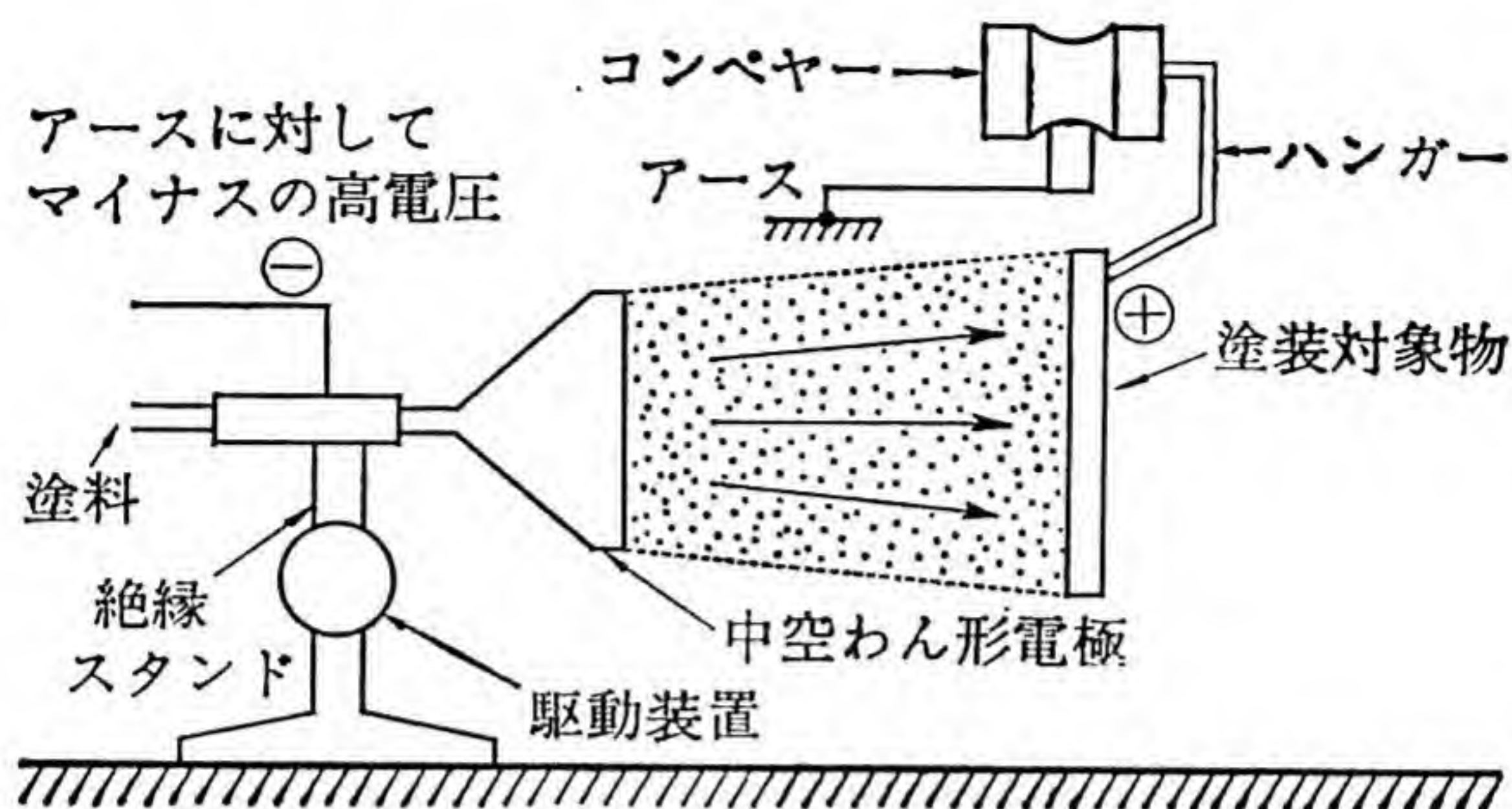
すべての物質は原子の集合である。原子はまたプラスの電気を持つ原子核と、その周囲をぐるぐる回るマイナスの電気を持つ電子とから成り立っている。

そして普通の状態では両者の電気量が等しいので原子全体としては電気的に中性である。つまり電気がないように見える。

まさつ電気の系列と原理

次にこれを他の物質でまさつすると、図のように、片方の電子が他方へとられる。電子はマイナスだからとられた方は全体的にプラスの電気を帯びることになる。

この場合、どちらが電子をとられるかは、二つの物質の「電位順序」(仮に、電子をひきつけておく強さとしておこう)できまる。

この静電気を利用する方法としては、静電気のくっつき力を利用した効率的な塗装や、植布や集じん器ができている。

代表例としては、静電塗装の原理が面白い。回転するカップに供給された塗料は、遠心力のために膜状となって、カップの内面を伝わり振り切られる。このとき、電界の作用もあって、微細な霧状となった塗料

カップ式静電塗装

は帯電し、対象物に向かって運ばれ、むだなく塗装が行なわれるわけである。

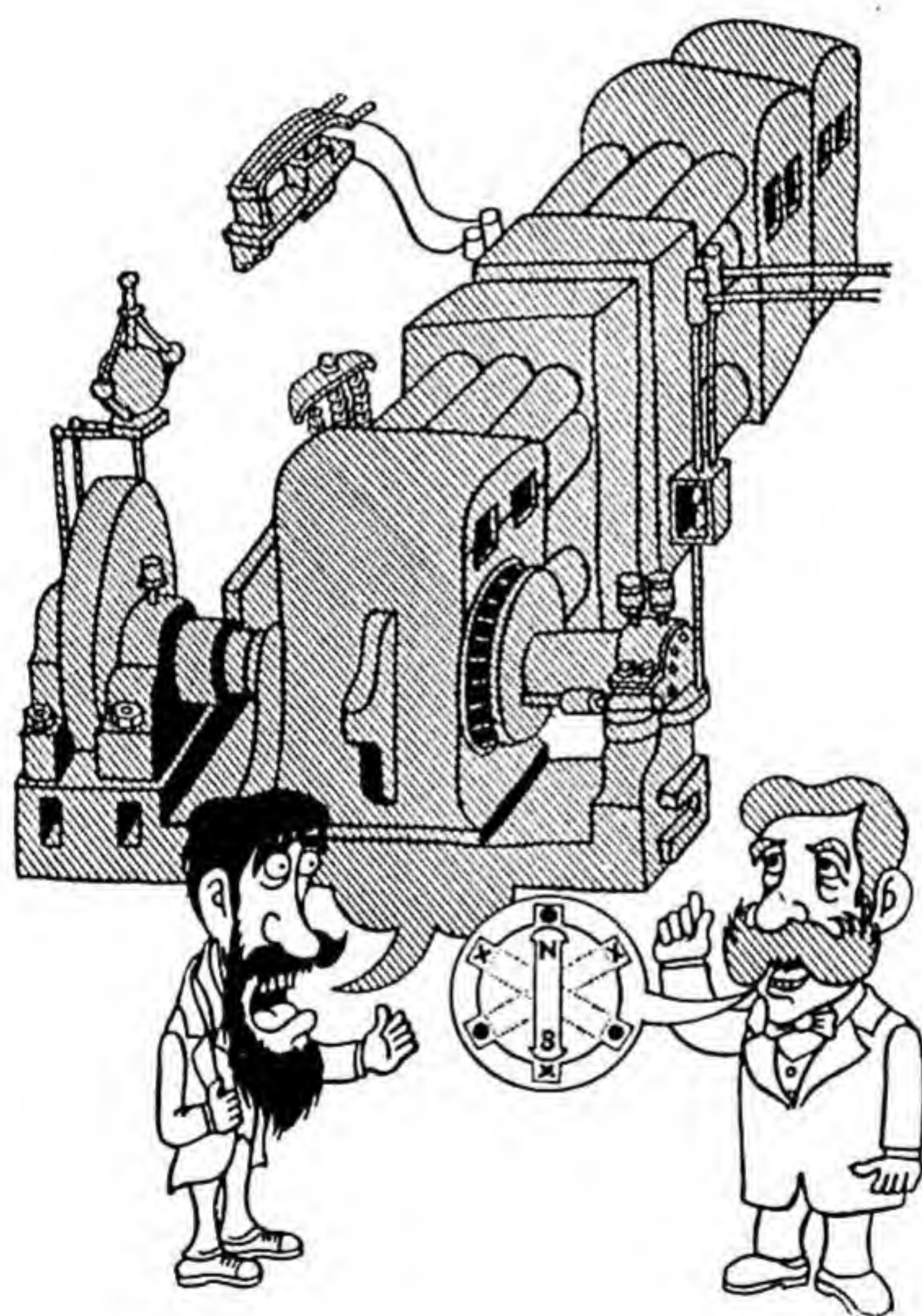
このほかにも静電気にはかなりの利点がある。

しかし、電気を本格的に使うには、どうしても動電気の活躍をまたねばならない。

最初、われわれに飼育された動電気は直流であった。

しかし、その後、交流が現われた。交流によって、人類は安くて便利な電気を思うがままにコントロールできるようになったのである。

次章ではその話に入ろう。

2　交流の話

これまで無断で述べてきた電気は、原則として直流である。つまり、電圧や電流の大きさや方向が、いつも変化しないものである。しかし、充電したコンデンサーを放電するときに流れる電流は、同方向であるが、すぐ消滅するから大きさが一定ではない。だから実際には、これは直流といいにくい。一つの衝撃波(サージ)のようなものである。

直流は便利なようだが、大変不便な面がある。それはおとなしすぎることだ。つまり、二つのコイルを並べて共通の磁束が通るルートを作っても(つまり変圧器を作っても)、磁束の変化がないから電磁誘導作用が起こらない。

そこで、電磁誘導作用を起こして電圧を変えるには、先述のようにひんぱんに電流を断続してやらねばならない。これでは大変不便だというので、変圧器で自由に電圧を変えられる交流の利用がはじまった。

一八八〇年頃のアメリカでの〝直流・交流戦争〟は、当時の交流に対する一般の懸念をはっきり示していた。

エジソンが開発した直流送電方式に対し、ウェスチングハウスは、長距離送電には高い電圧が途中の損失や電圧降下が少なくて有利なことを強調した。これで、アメリカの世論が大きく湧い

たのである。

さて、交流とは、たえず電圧と電流の大きさや方向が変化するものである。たとえば、六〇ヘルツの交流は、一秒間にプラス、マイナスのくり返し（周期）を六〇回くり返す。

この直流と交流の違いを理解するには、水の流れにたとえるのがよい。直流は常に一方向に電流が流れるから、電流を水流に置き換えた水道そっくりである。交流は、同じ水道でも水が行ったり来たりをひんぱんにくり返す方式である。

それでは、水道管の中にプロペラを置いても仕事をしないと思われるかも知れない。しかし、プロペラの回転が一方向になるように、プロペラの部分だけ、弁とパイプによって、ちょっとし

直流

⊖⊕ または ⊕⊖

時間

電池による直流

交流

⊖⊕ または ⊕⊖

時間

正弦波形の交流

特殊な電気

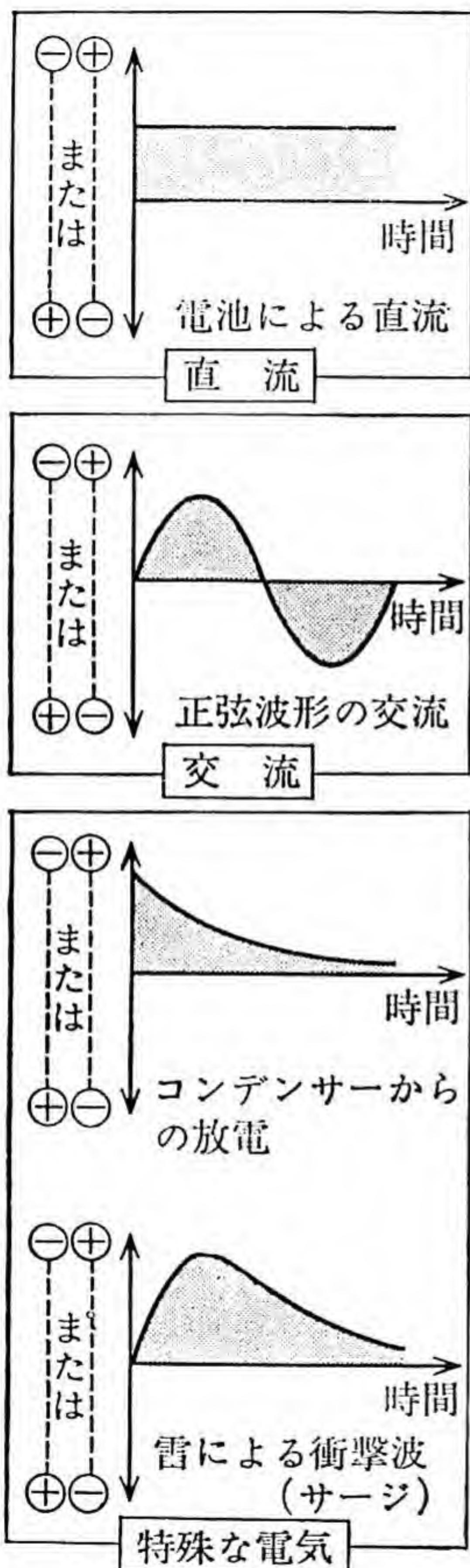
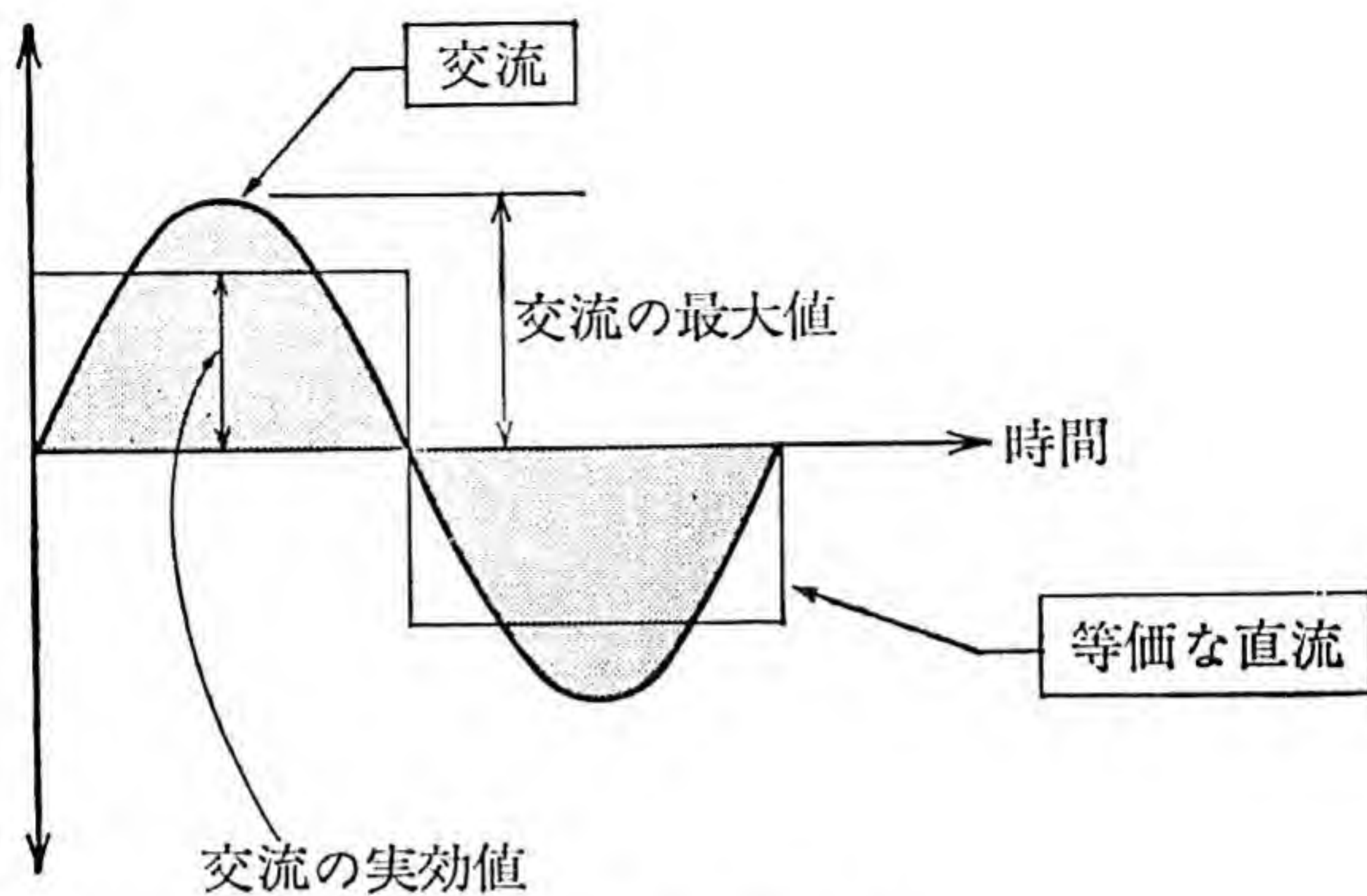
⊖⊕ または ⊕⊖

時間

コンデンサーからの放電

⊖⊕ または ⊕⊖

時間

雷による衝撃波（サージ）

電気の形態（電圧と電流の両方について言える）

交流の実効値

た整流回路を作れば事が足りる。

もちろん、そうした工夫が実現して、ウェスチングハウスが〝電流戦争〟に勝利をおさめたことはいうまでもない。

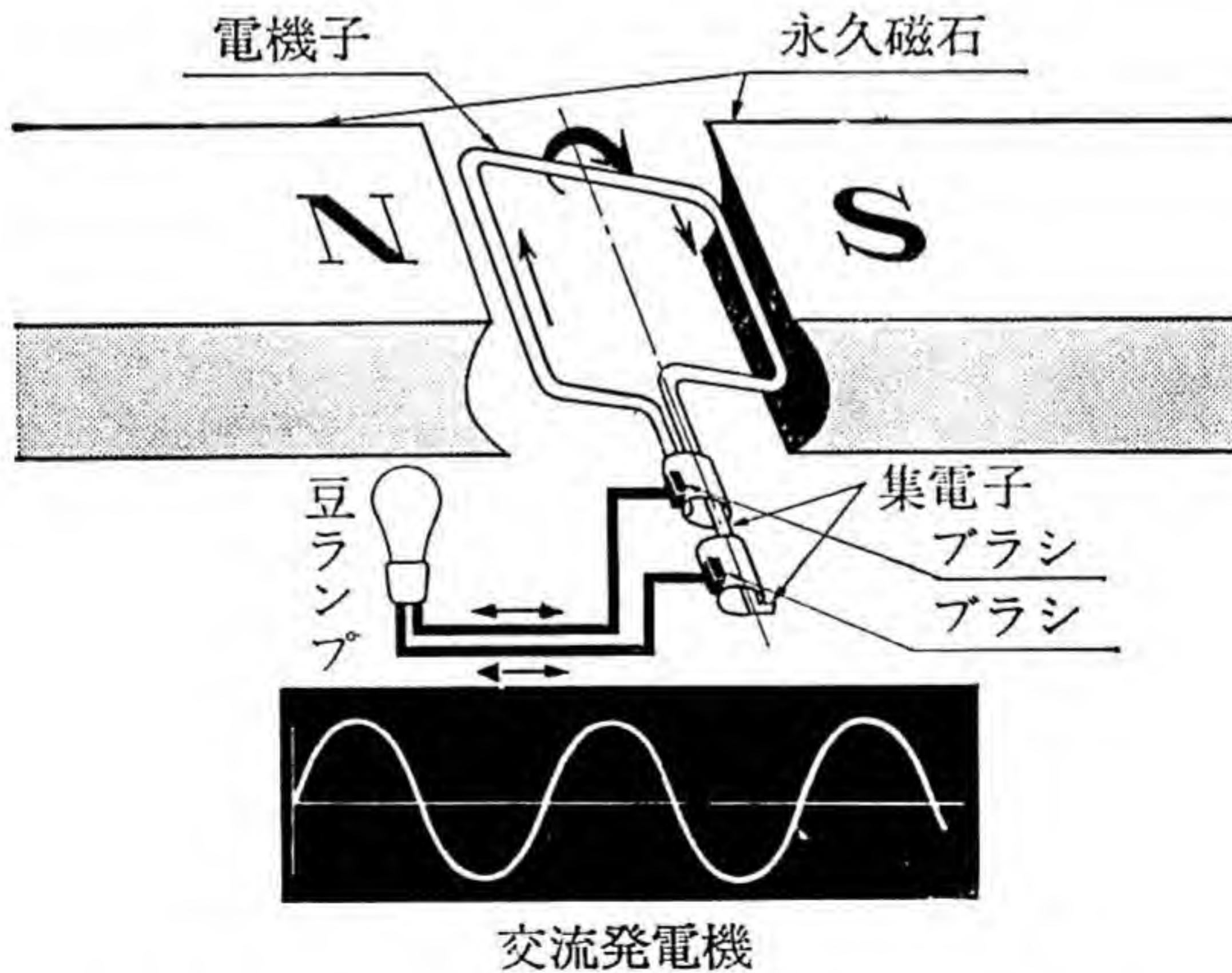
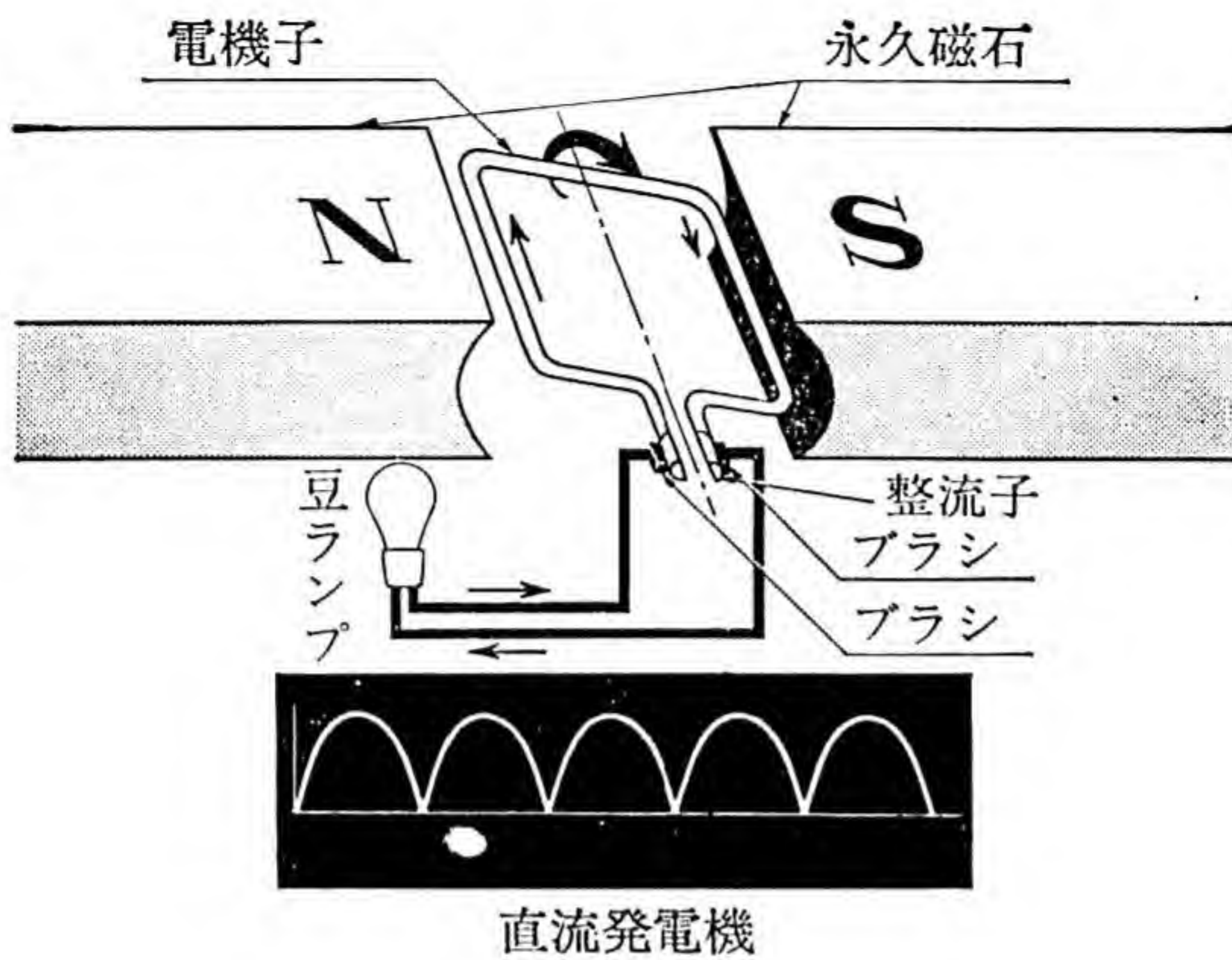
たとえば、次のような工夫も、交流をコントロールするためには欠かせないものである。

交流の実効値

いつもかげ日向なく働いている人の勤務評定は簡単だ。そのまま正直に採点すればよい。ところが、交流のように、便利ではあるが、ひんぱんに〝態度〟を変える人の場合には、特別のさじ加減が必要だろう。

直流の電圧をはかるのは簡単だが、交流では、波のてっぺんにくるのは瞬間だけだ

から、その値をそのまま測定しては、平均した値に対して測りすぎになる。
そこで、ファラデーと並ぶドイツの電気学者レンツは、交流の向きが変わるごとに、その向きに合わせて機械的にスイッチを切りかえて、検流計で交流電圧を測定した。検流計は、ごく弱い直流電流を測る装置である。その針はある慣性をもっているため、周期的に加わるパルス電圧がうまく平均されて針に出たわけである。
その後、可動鉄片形という便利な計器が発明された。これは、コイルに交流を流しても、その中の可動鉄片にはいつも吸引力が生じ、しかもその吸引力は交流の実効値を示すというものである。これは原理的には直流にも使われるが、実際にはほとんど交流に用いられる。
また、電流を熱に変えて測る方法も考えられた。このような計器は、うまく交流の〝実際に役に立つ電流や電圧の値〟をはかることができる。そして、その値を〝実効値〟と呼ぶ。普通、我々が一〇〇ボルトを言えばそれは〝実効値〟をさすわけである。
また直流発電機には、基本的に整流の問題がある。
直流発電機は、固定側のコイル（ステーター）でできる何極かの組み合わせによる磁束の中で、回転体（ローター）に巻かれた導体を回転させる。つまり、導体で連続的に磁束を切らせて、ローターに交流を発生させ、それを整流子によって一極ごとに方向を反転させて直流になおす。
だから、直流発電機はもともと交流発電機なのである。言い換えれば、NとSの組み合わせ

直流発電機

交流発電機

発電機の原理。いずれも電磁誘導の応用である。
整流子と集電子がちがっている

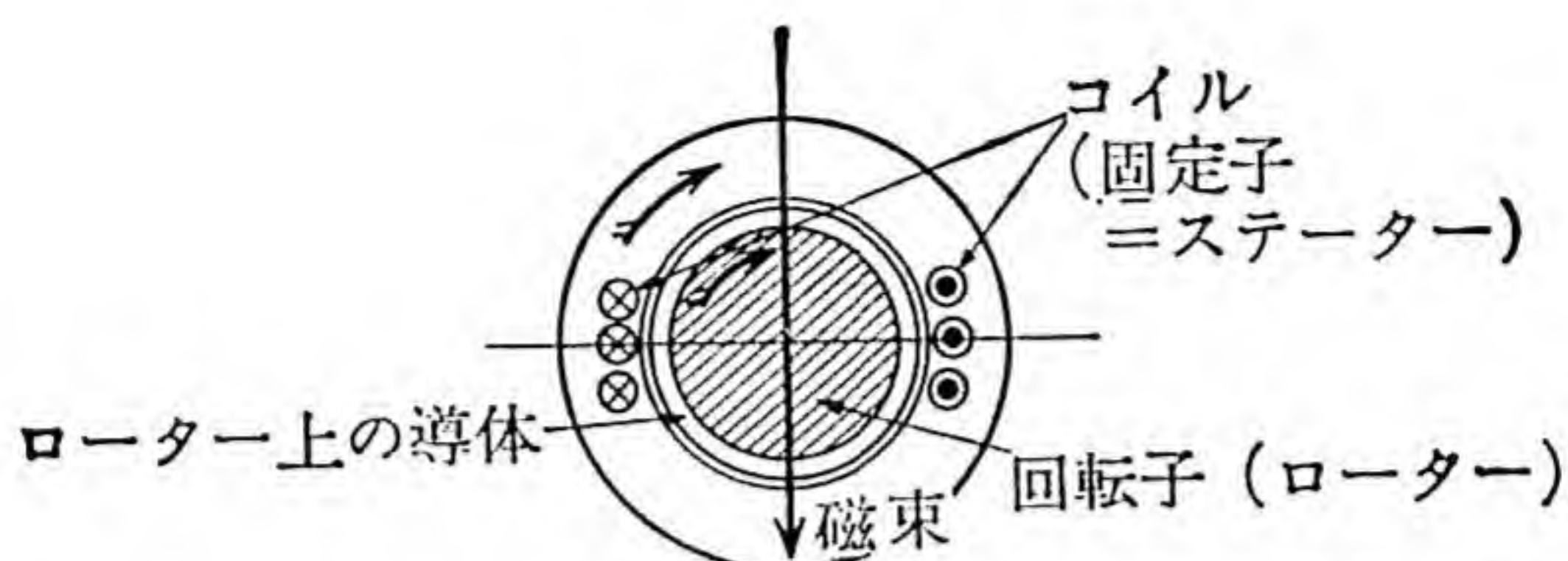
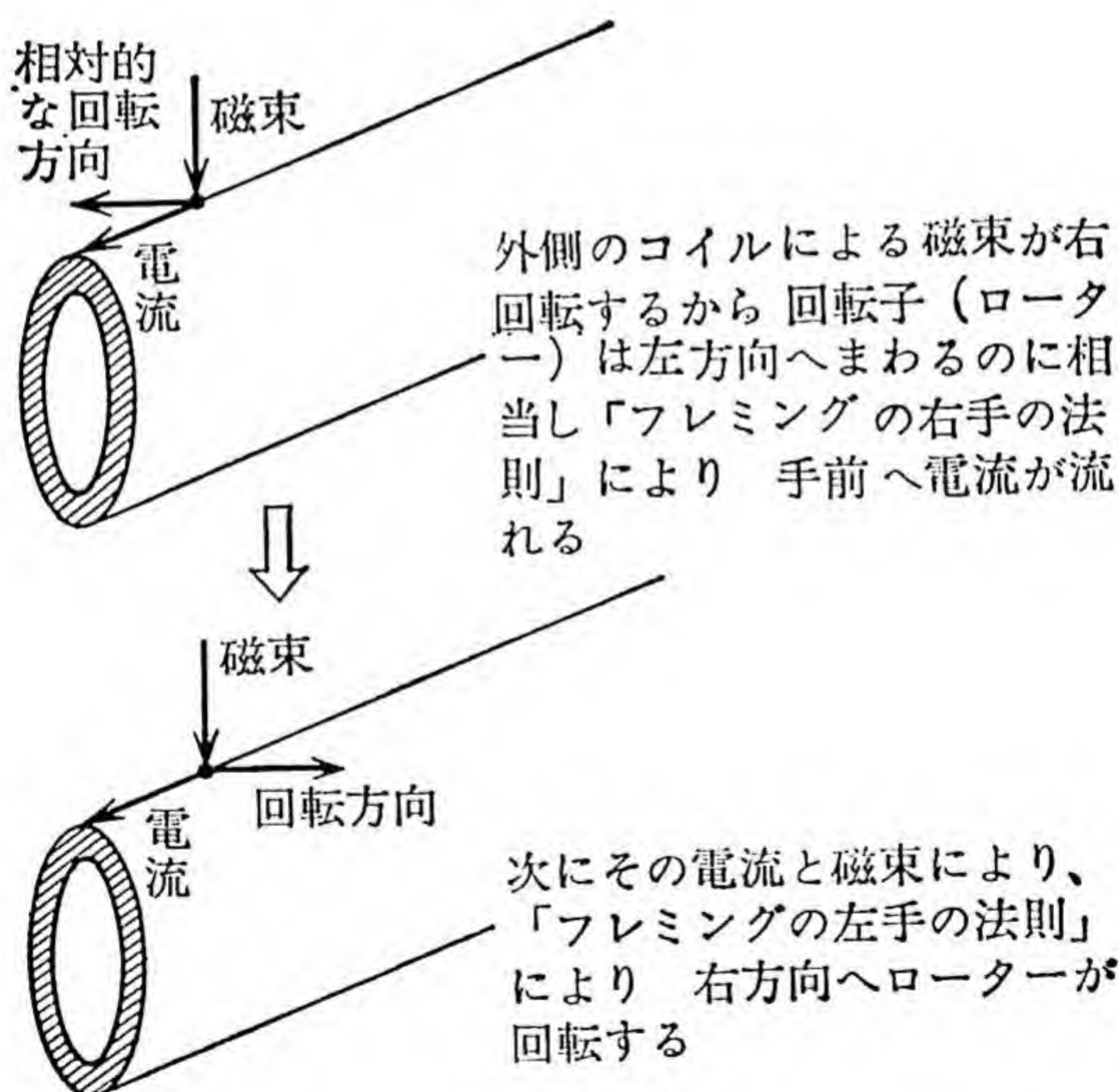
で、導体を一定方向に回転させれば、当然交流ができる。だから交流として取り出す方が、発電機の形態として無理がないといえる。交流発電機の大部分である「同期発電機」はこれである。

三相交流

図を見て頂きたい。一二〇度の角度を置いて、円周上に配置された三つの電磁石の上に陶器製の皿をのせ、その上にのせた銅製の卵がぐるぐると回っている。これに似たデモンストレーションは、電気器具店のショー・ウインドーなどで見た人もあるにちがいない。

いま、この三つの電磁石に順番に交流を通してやると、それによってできる磁界も順に動いていって、結局、磁界は回転することになる。

三相交流によって回転する「卵」

また、銅製の卵の中には、運動する磁界のせいで電流（渦電流）が流れる。この電流はまた磁界を作るが、この磁界は自然の法則によって、常に、もとの電磁石の回転磁界の運動を妨げるようにできている。つまり、渦電流もそのように流れるわけである。そして渦電流と回転磁界の間には目には見えない〝電磁相互作用〟がはたらく。

このようにステーターに電流を流すと磁束ができる。今、ステーターの導体を三相結線とし、回転磁界が右まわりにできるようにすると、ローターも少しおくれて右にまわる

誘導電動機。これはローターの回転に必要な電流を自分で作っている

一言でいえば、卵は回転磁界をひきとめようとする、ところが卵をひきとめる何ものもないので、卵は仕方なく回転磁界にひきずられ、ぐるぐると回り出す。もちろん、卵と回転磁界の間には綱も手もあるわけではなくて、目に見えぬ〝電磁力〟が介在するのである。

この過程をまた別の面からながめてみると、卵の中に渦電流ができるのは発電作用であり、その渦電流と回転磁界とが卵を回すのは電動作用である。したがってこれは、発電機と電動機の組み合わせ作用であるということになる。この発電作用は、また誘導作用といわれ、最も一般的な誘導電動機は、この原理によるものである。

また、ここで気を付けなければならないのは、卵の回転速度は磁界の回転速度(同期速度)より、必ず少しおそいことだ。もしも同じ速さなら、卵の中を磁束が切ることができないから、渦電流はできない。たとえ卵がまわったとしても、卵のトルク(回転力)は零だという変なことになる。卵には、皿とのまさつなどで必ず若干の損失があるから、トルクが零なら回転はできないはずである。

この回転の差を、同期速度で割った小数の値を「スリップ」と呼ぶ。

この回転する卵のように三つの電磁石に順番に電流を流すには、三つの交流が必要である。普通、交流といえば、われわれの家庭に二本の電線で送られてきている「単相交流」を思いうかべる。しかし、今これを三組組み合わせ、順番に波をずらすと「三相交流」ができる。

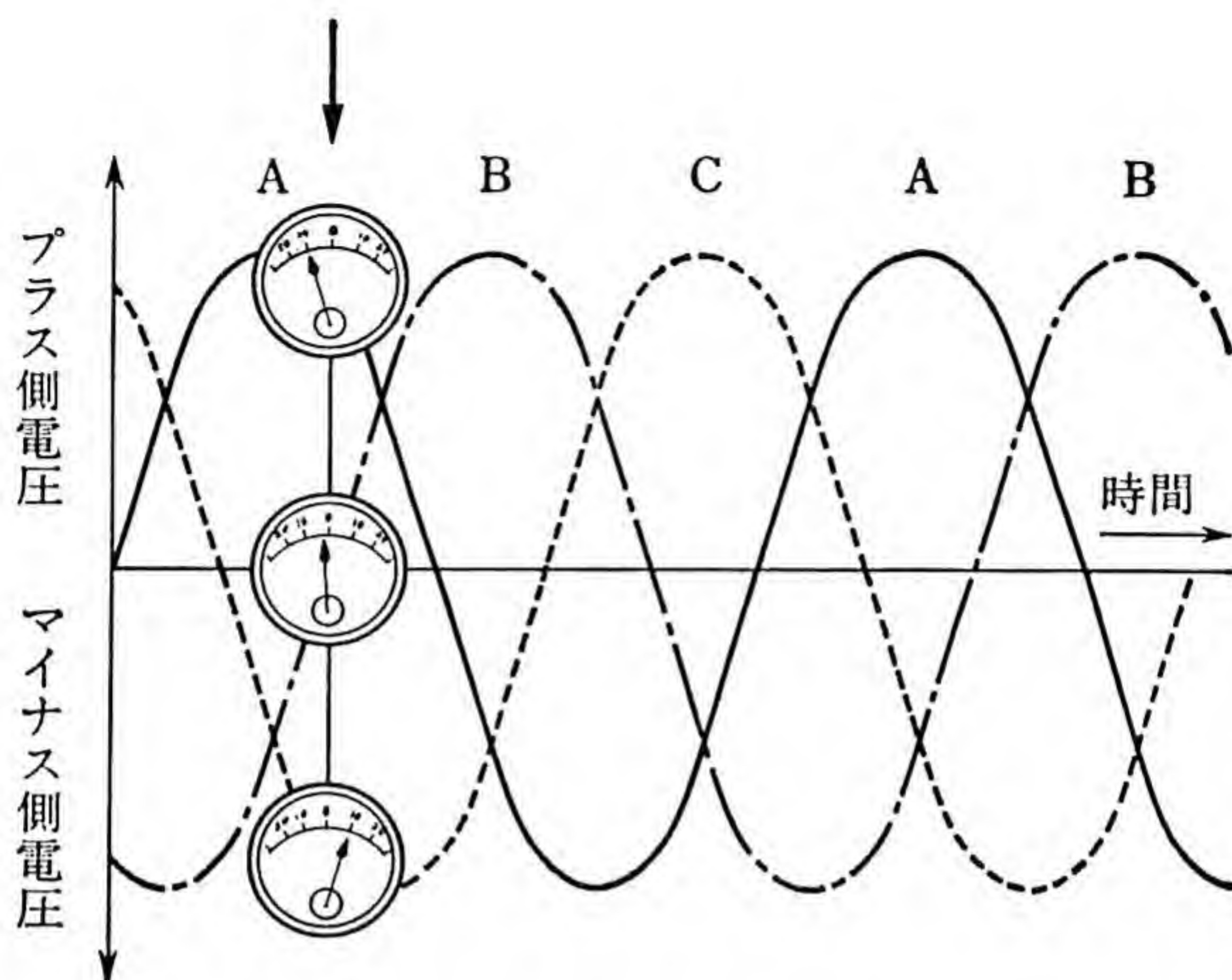
そして交流の利点の一つは、回転磁界を容易に作りうる三相交流ができることなのである。
幼稚園で子供達が懸命に「回転懸垂」をまわしている。一人で回そうとすると大変な力が必要だし、その上「懸垂」自体がかたよってしまい、地面に当たるだろう。そこで、三人が等間隔に配置してまわすと、懸垂は中心を保って快調に回る。三相交流とはこんなものである。

なお、回転磁界を作るのは三相交流ばかりではない。二相交流は単相交流を二つ、九〇度の電気角度をおいて組み合わせたものである。これでも、曲がりなりに回転磁界を作ることができる。アメリカでは最初、二相交流が開発され、その後三相交流が開発されてきた。

東海道新幹線は、上り線下り線それぞれに単相交流を使っている。しかし、電力会社から受電するのは三相交流であるから、これをスコット結線形という特殊な変圧器を用いて能率的に変圧している。

三相交流の利点をもう一つあげよう。

単相が二本なら、三相では線が六本必要なはずだ。しかし普通は三本で間に合っている。そこがみそなのであって、単相を電気的に一二〇度ずつずらすと、どの瞬間を見ても、帰りの三本の線の電流の代数和は零である。そこで、どうせ流れないのなら、思い切って帰りの電線をやめてしまえというわけである。

家庭では大部分単相一〇〇ボルトであるが、一キロワット以上のモーターでは、単相二〇〇ボ

三相交流

ルトを用いたり三相二〇〇ボルトを別途引き込むよう求められることがある。

周波数の話

交流で点灯したけい光灯の光の下で手を速く振ると、手はちらついてみえる。これは、交流の周波数に応じて光が明滅をくり返すからだ。

けい光灯は放電を利用しているので、電圧をなくすると瞬時に光がなくなる。これに対し白熱電球では、このような短時間ではフィラメントは十分冷却しないから、ちらつきが出ない。

交流は日本では六〇ヘルツと五〇ヘルツの二つにわかれている。

鉄心にコイルを巻いてこれに六〇ヘルツ

50ヘルツ地区
50ヘルツ地区にある60ヘルツ需用家
60ヘルツ地区
60ヘルツ地区にある50ヘルツ需用家
50ヘルツ、60ヘルツ混在地区
北海道電力
北海道
王子製紙
日本セメント
同和鉱業
青森
三菱金属
岩手
秋田
東北電力
富士製鉄
山形
宮城
高荻炭鉱
新潟
福島
栃木
北陸電力
富山
日本鉱業
群馬
茨城
東邦亜鉛
石川
埼玉
千葉
長野
東京電力
岐阜
山梨
東京
福井
中国電力
京都
滋賀
愛知
静岡
神奈川
八幡製鉄
豊国セメント
鳥取
兵庫
三重
中部電力
島根
岡山
大阪
奈良
広島
香川
徳島
和歌山
東邦亜鉛
山口
愛媛
高知
四国電力
関西電力
佐賀
福岡
大分
熊本
宮崎
長崎
旭化成
九州電力
鹿児島
新日本窒素

日本の周波数区分図

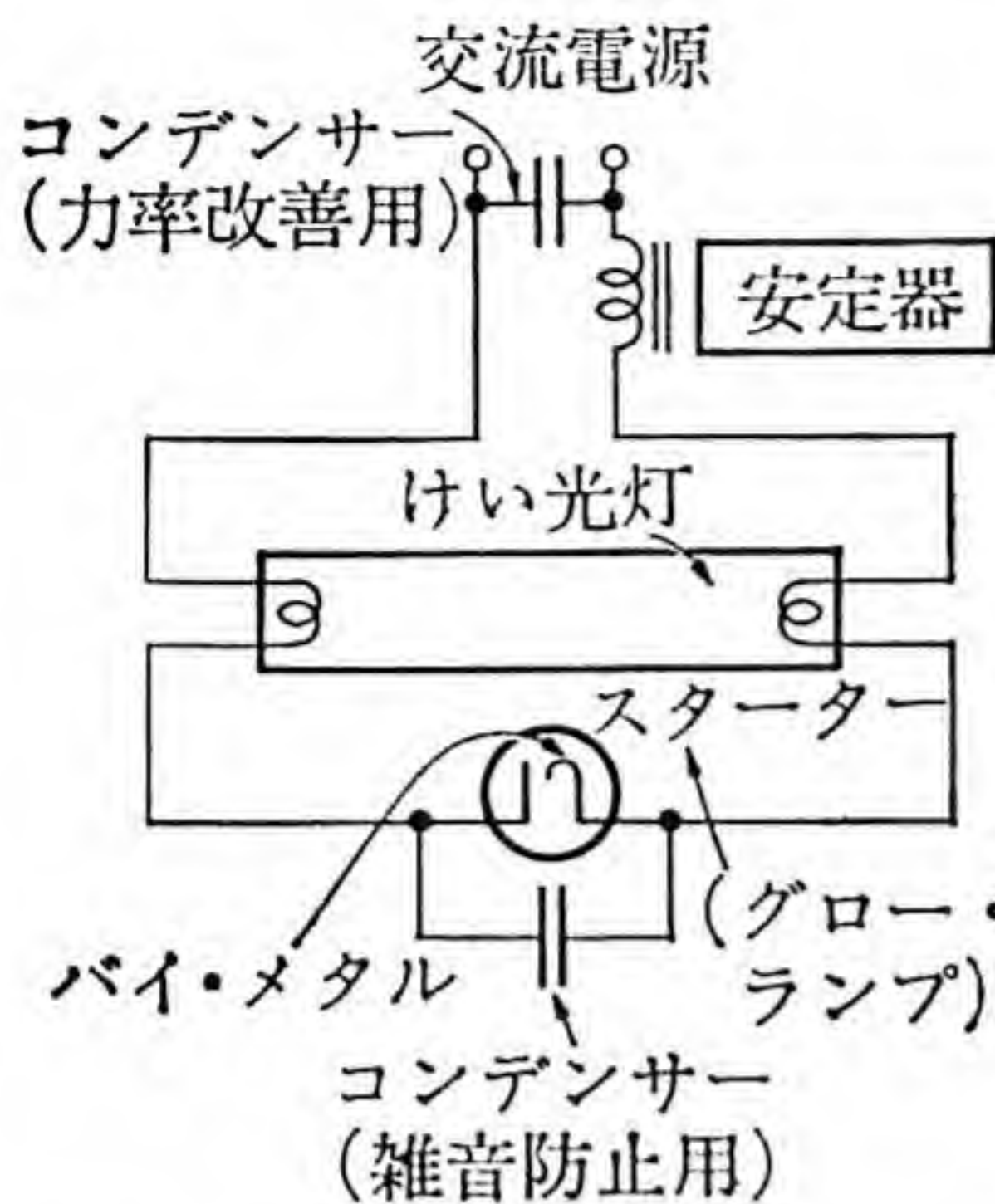
の電流を流すと、鉄心はプラス側で一回、マイナス側で一回振れるから、結局六〇ヘルツの二倍の一二〇ヘルツの振動をすることになる。交流ブザーや、変圧器の低い振動音はこれである。NHKの時報の音は、低い方が四四〇ヘルツ（ハ調の「ラ」の音）、高い方が一オクターブ上の八八〇ヘルツである。

これから一二〇ヘルツや一〇〇ヘルツ（五〇ヘルツの交流の場合）の音が想像できよう。

日本の両ヘルツの境界線は大体静岡県の富士川で、それより東側が五〇ヘルツ、西側が六〇ヘルツである。その境界はややこしく入り混じっていて、極端な場合、こちらが六〇ヘルツで、道路をへだてて向かい側が五〇ヘルツという所もあるようだ。

九州は、昔は六〇ヘルツと五〇ヘルツが入り混じっていたが、今は全部六〇ヘルツに統一された。しかし、工場によっては、全部五〇ヘルツの自家用発電所でまかなっている所もある。

新幹線は六〇、五〇両ヘルツ地域を通っているが、六〇ヘルツの方が経済的で、しかもどちらか一種類に揃えないと不経済であるから、結局六〇ヘルツに統一された。そのため、五〇ヘルツ地域では、五〇から六〇への周波数変換所がわざわざ作ってある。

静岡県の天竜川中流にある佐久間にも、三〇万キロワットの周波数変換所があり、自由に電力を融通できるようにしてある。

①グロー・ランプが放電をはじめる
②バイ・メタルが伸び接点がつく
③けい光灯のフィラメントに電流が流れ予熱される
④グロー・ランプの放電がとまり接点が開く
⑤その瞬間、安定器の「インダクタンス」による高圧サージによりけい光灯がつく
⑥けい光灯がついた後は、安定器による電圧降下により、グロー・ランプの放電は起こらない

けい光灯回路の一例

周波数と電気器具

このように、せまい日本が、鉄道の広軌と狭軌のように、二種類の周波数にわかれているのは大変不幸なことである。

家庭電気器具を選ぶときも、それ相当の注意が必要になる。

A君はいつも東京と大阪の間を新幹線で往復する行動派ビジネス・マンである。彼はテープ・レコーダーをいつも携帯している。さて彼はどんな形のテープ・レコーダーを持っているだろうか。

この返事は読者の方々にはかんたんであろう。

「電池式」だと。

たしかにその通りである。しかし、電池式だと電灯線の電気につないだ場合にも、

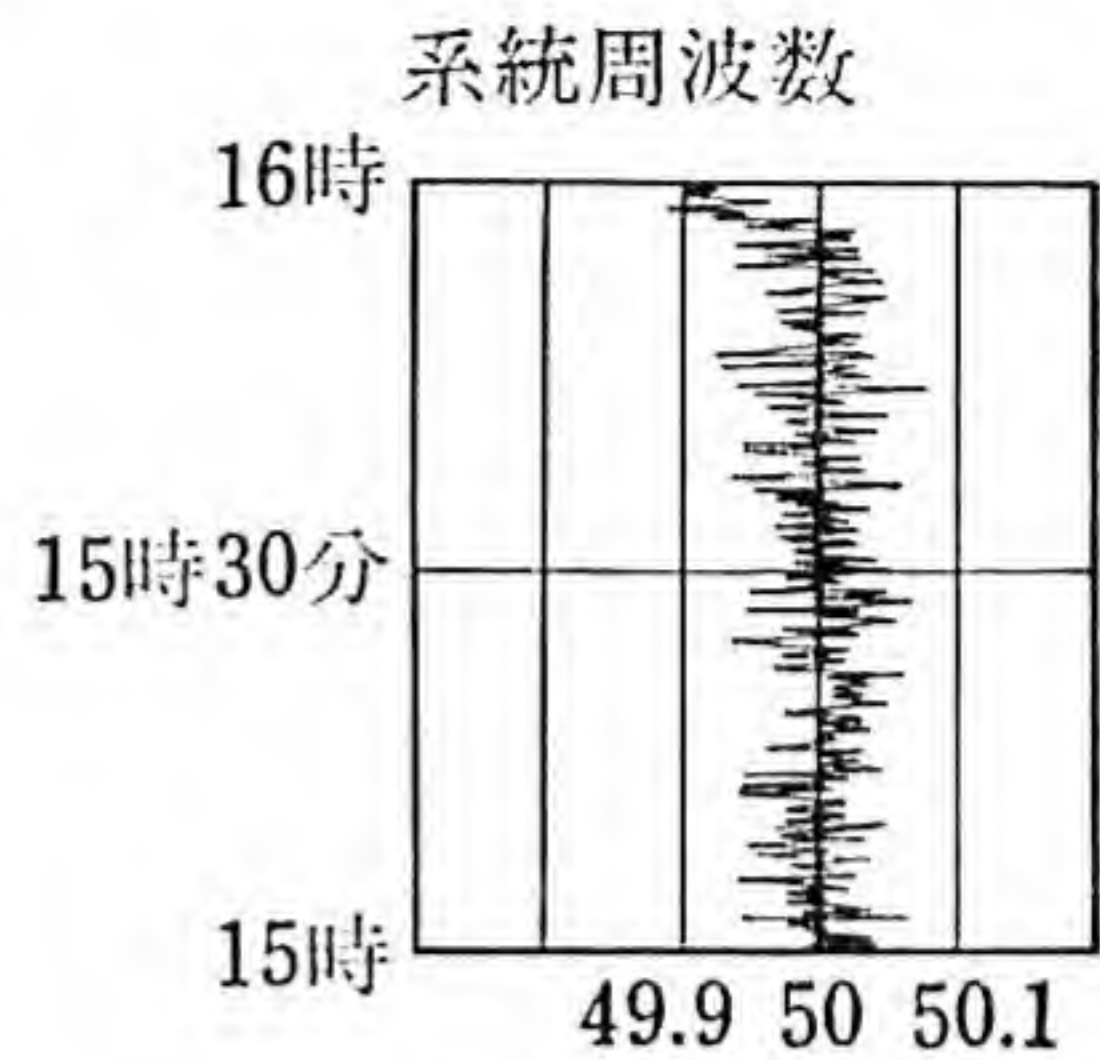
交流の周波数に関係がないこともついでに考えて頂きたい。

セットの中で一たん交流から直流になおしている(整流している)わけだ。

このことは非常に大切なことを意味している。先述の佐久間の周波数変換所では、交流を一たん直流になおし、再び交流になおしているのだ。直流は周波数の変換に際して〃仲人〃の役をしているわけである。

このように、モーターを用いた器具は、周波数にほぼ比例した回転をすると考えられる。洗濯機ならまず実用上支障はないが、テープ・レコーダーのように一定速度のものでは、十分に気をつけなくてはならない。周波数の異なるときは、テープの速度を一定に保つようにピニオン(軸)で調整できるようにしたものが多い。

次にけい光灯。

これも周波数の影響を受ける。スタートするときに管電流が流れすぎるのを防ぐため、「直列」に安定器が入っている。これにはチョーク・コイルという変圧器のように鉄心に巻いたコイルがよく用いられる。そして周波数が低くなると安定器のインピーダンス(後述)が小さくなって、電圧降下が小さくなるからランプ自体に高い電圧がかかる。そのため六〇ヘルツ用を五〇ヘルツで使うと、明るすぎ、ランプの寿命が短くなったり、火事の原因になる。反対の場合はつかなくなったり、ついても明るくならない。

電気時計はふつう、電源周波数に比例して（同期して）まわる同期モーターを使っている。

宣伝では、〃電源周波数に同期する正確無比形〃とある。しかし、これはあくまでも規定の周波数を保っている場合に限る。

周波数変動の例（50ヘルツ）

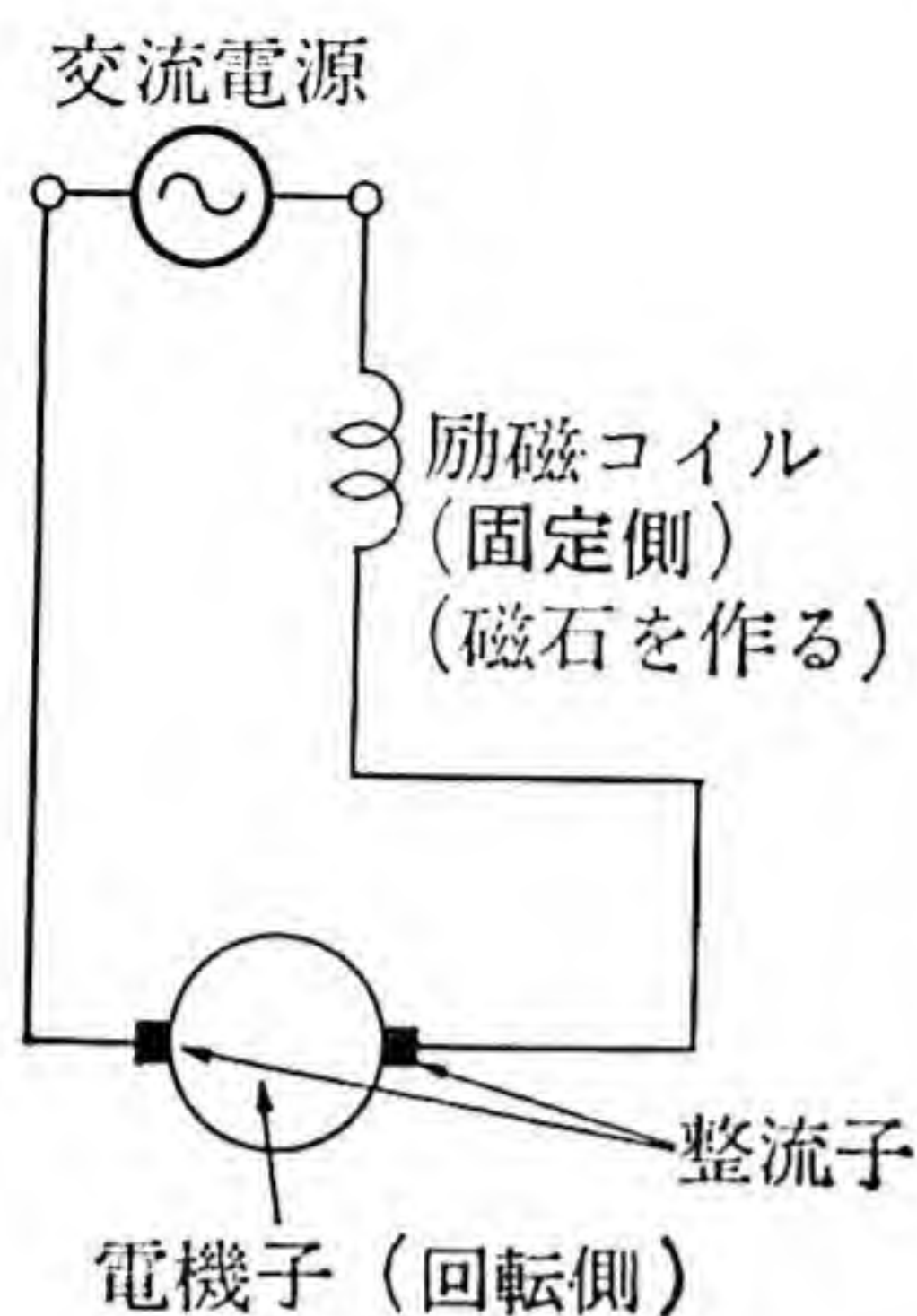
幸い各電力会社はプラス・マイナス〇・一ヘルツに維持するようにつとめているし、周波数がこの範囲で上下するので、誤差が累積しない利点はある。例えば一日間を平均すれば比較的狂いが少なく一〇秒以内にはおさまるようである。

要はなぜ〃正確無比形〃であるか、その原理をつかんでおくことである。もちろん使用中に停電すれば時計も止まることはいうまでもない。

次に、周波数に関係のない電気器具をあげてみよう。まず電熱器や白熱電球は構造上関係ない。直流でも使える。

テレビやラジオは、一般に六〇、五〇両ヘルツで使える。

また、ミキサーや真空掃除機のように、特に高速で（毎分一万回転近く）回すときには、「整流子モーター」を使う。これも六〇、五〇両ヘルツで使える。

あとになったが、電熱や白熱電球以外の電気器具は、ほとんどが直流用と交流用とにはっきりわかれている。
だから、当然のことながら、電気器具を選ぶときは、まず直流用か交流用かをしらべなければならない。ただし、整流子モーターの中には、交流、直流の両用に使えるものもある。
一般に、交流用に直流用を入れると、直流は周波数が〝零〟に相当するから、コイルの中で周波数に比例して起こる「逆起電力」がなくなり、電流が流れすぎる。
たとえば、モーターに交流を流すと、電流の向きが変わるごとにモーターの中で逆起電力が起こる（つまり電流を流すまいとする力が起こる）。

整流子モーター

ところが、直流は、同じ方向に流れっ放しだから、逆起電力は起きない。だからほとんど短絡（ショート）の状態になるわけだ。
日本国内の電車は直流モーターを使っている。最近東海道新幹線をはじめ交流電車が多く用いられるが、これも電車につんだ整流器で交流をわざわざ直流に変えている。
直流モーターはスタートの力が大きく、速度を

広範囲に調整できるからである。

さて、これまで交流にはかなりの特長があることを強調した。

しかし一方では、交流が周期変動をくり返す波であることから、その取り扱いにはかなりの注意が必要である。

次に交流飼育のこつを見ることにしよう。

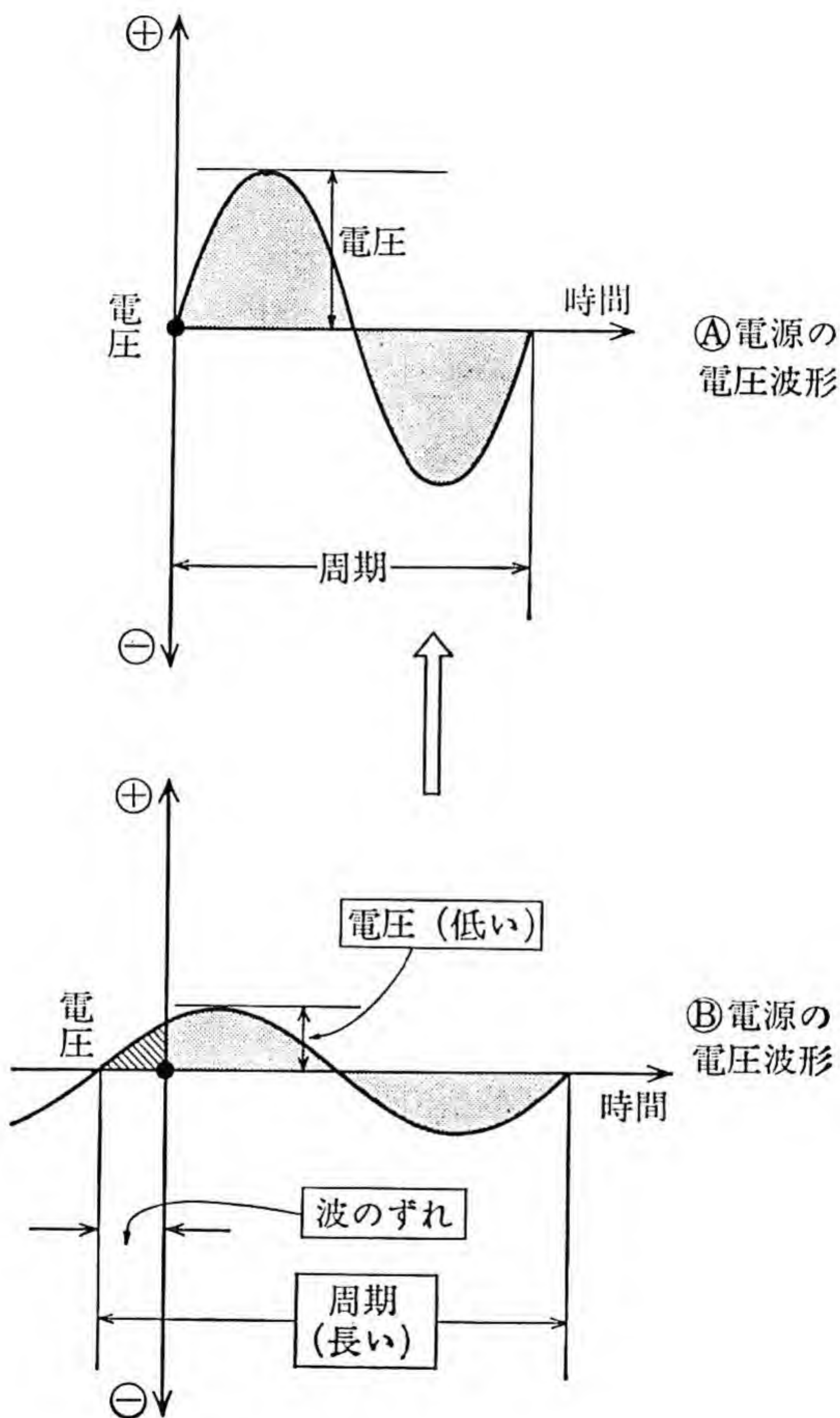
むずかしい同期運転

交流が時間的に変動する波のくり返しであることから、当然気がつくのは、二台以上の発電機を組み合わせて運転するには、これらの波を完全に一致させねばならないことである。

このことを「同期運転」と呼ぶ。各波の大きさが等しく、ずれがなく、また周波数も完全に等しくなければならない。

この三つが同期運転の基本条件である。

〝電流戦争〟当時の人々は、これを実現することは他人と自分の〝心臓の鼓動や呼吸をそろえること〟ほどむずかしいと考えていた。

たとえば同期がはずれると各機械はてんでんばらばらになり、遂に「脱調」という現象が起こる。

同　期　運　転

極端な場合、Aの発電機の波がプラスの最大にあるとき、Bの発電機の波がマイナスの最大にあれば、AとBの間で完全な〝ショート〟の状態になる。

ただし、同期運転は同期形という発電機やモーターの場合である。先述の「卵」は誘導形であり、卵の回転速度は同期速度より少しおそいから、同期運転はそれほど深刻ではない。

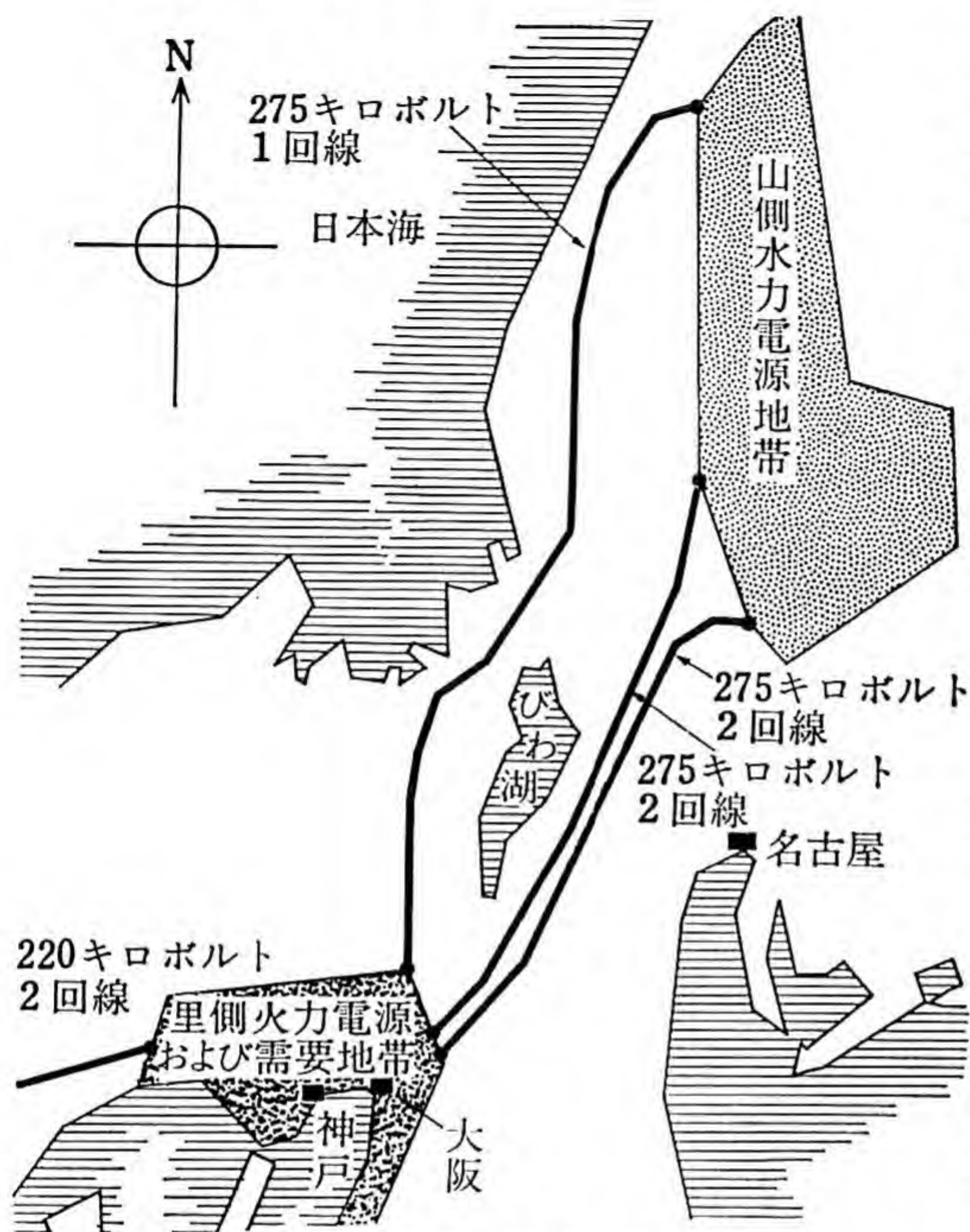
交流の綱わたり

昭和四十年六月二十二日朝八時一六分、関西一円に三四〇万キロワットにも達する大停電が起こり、約二〇分続いた。そのときの各所の混乱ぶりは全く大変なものだった。

都市の地下鉄は止まり、暗やみで乗客は悲鳴を上げ、手術中の患者は生命の危険に直面した。

これは本州中央部の岐阜県にある電源開発株式会社の御母衣（みぼろ）発電所の構内で二七五キロボルトの送電鉄塔が山くずれで倒れたためであった。鉄塔は発電所の電線に落ちかかり、次々に送電線が使えなくなり、最後に残った送電線も電力が加わり過ぎて、水力発電所の発電機と大阪近辺の発電機やモーターとの間の同期が保たれなくなり、ついに脱調状態になったのである。

水力発電所の発電力が必要量より減ったから、当然発電機の回転がおちる。そのため、それに比例して周波数も下がった。

このとき、大阪近辺の海岸にある火力発電所が頑張って発電力を維持すればよかったのだが、

火力発電所の蒸気タービンは、高速、高温、大容量のため、非常に振動にデリケートである。それは規定の周波数より三ヘルツくらい下がると共振（後述）現象を起こして危険になるので、自動的に系統から分離されるようになっていた。このようにして、需要と供給の関係がアンバランスになり系統全体がくずれたのである。こうした同期失敗の事故は、アメリカやイギリスでも最近ひんぱつしている。

関西地域の電源と需要の関係

昭和四十年の十一月九日一七時一六分に起こったアメリカとカナダの連系点の二三〇キロボルト送電線のリレー（継電器）の調整ミスがそれである。この事故では、ニューヨークをはじめ主要都市の高層アパート

の交通、水道、ガス、換気その他、都市の機態がまひし、死者も出た程であった。

直流送電だったら

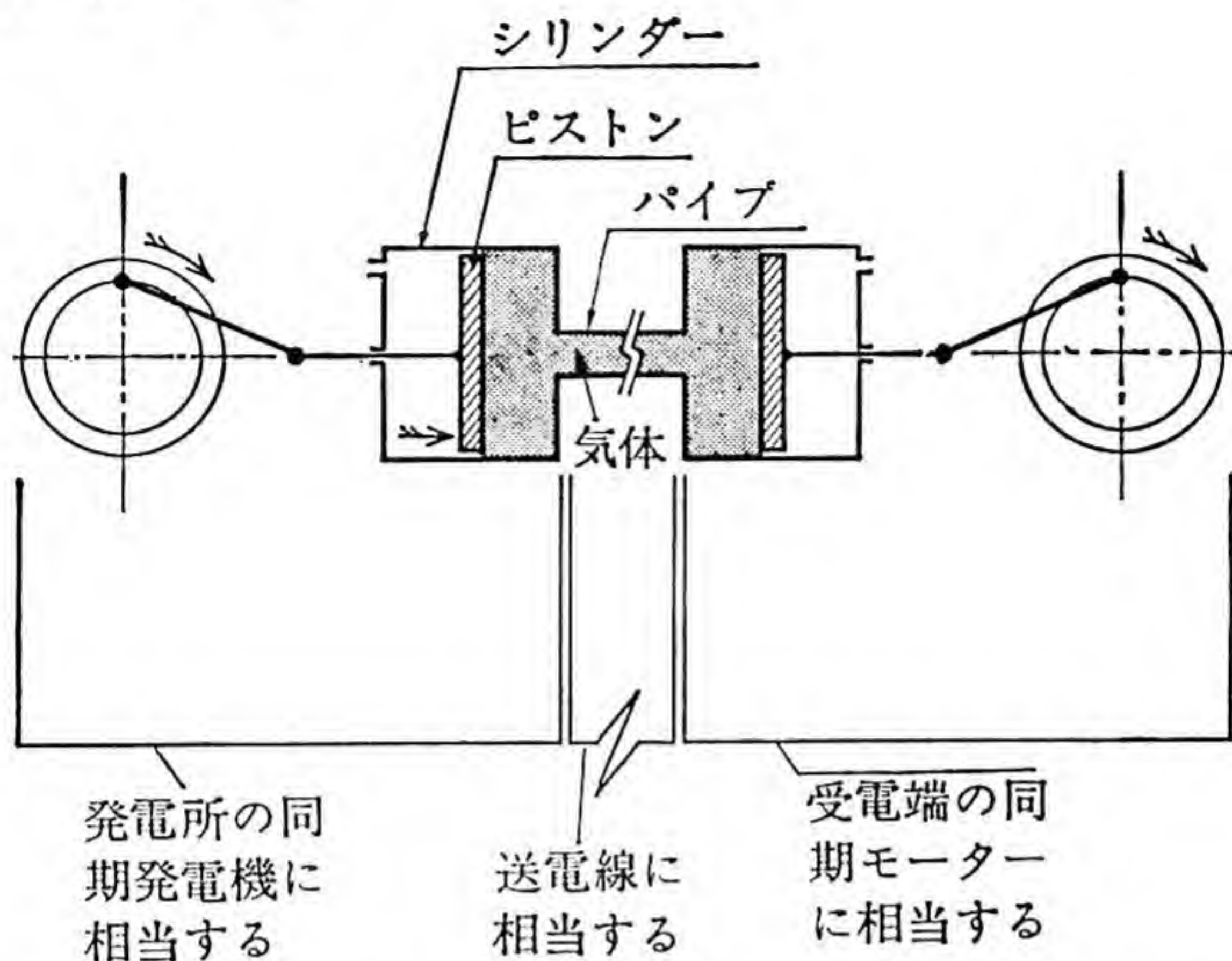
北海道と本州を結ぶ二つの動脈の建設が急にクローズアップされている。津軽海峡を横断して、一つは鉄道のための青函トンネルの試験掘り、もう一つの方は、注目の本州と北海道との間の連絡送電線である。トンネルはすでに試験掘りが始まっており、送電線はルートを調査中である。

送電方法には、線間電圧(プラスマイナス) 五〇万ボルトの直流を海底ケーブルで送る計画が、有力で、このほか、架空送電線の案もある(その後、直流ケーブルが敷設された)。

もちろん、本州も北海道も一般送電線は交流だから、両方に交流—直流変換装置を置くことになる。

日本は北海道、本州、四国、九州の四つの主な島から成り立っていて、九つの電力会社から需要家に電力が供給されている。このうち北海道以外は全部二二〇キロボルト以上の超高圧送電線で連系されていて、互いに電力を融通し合っている。

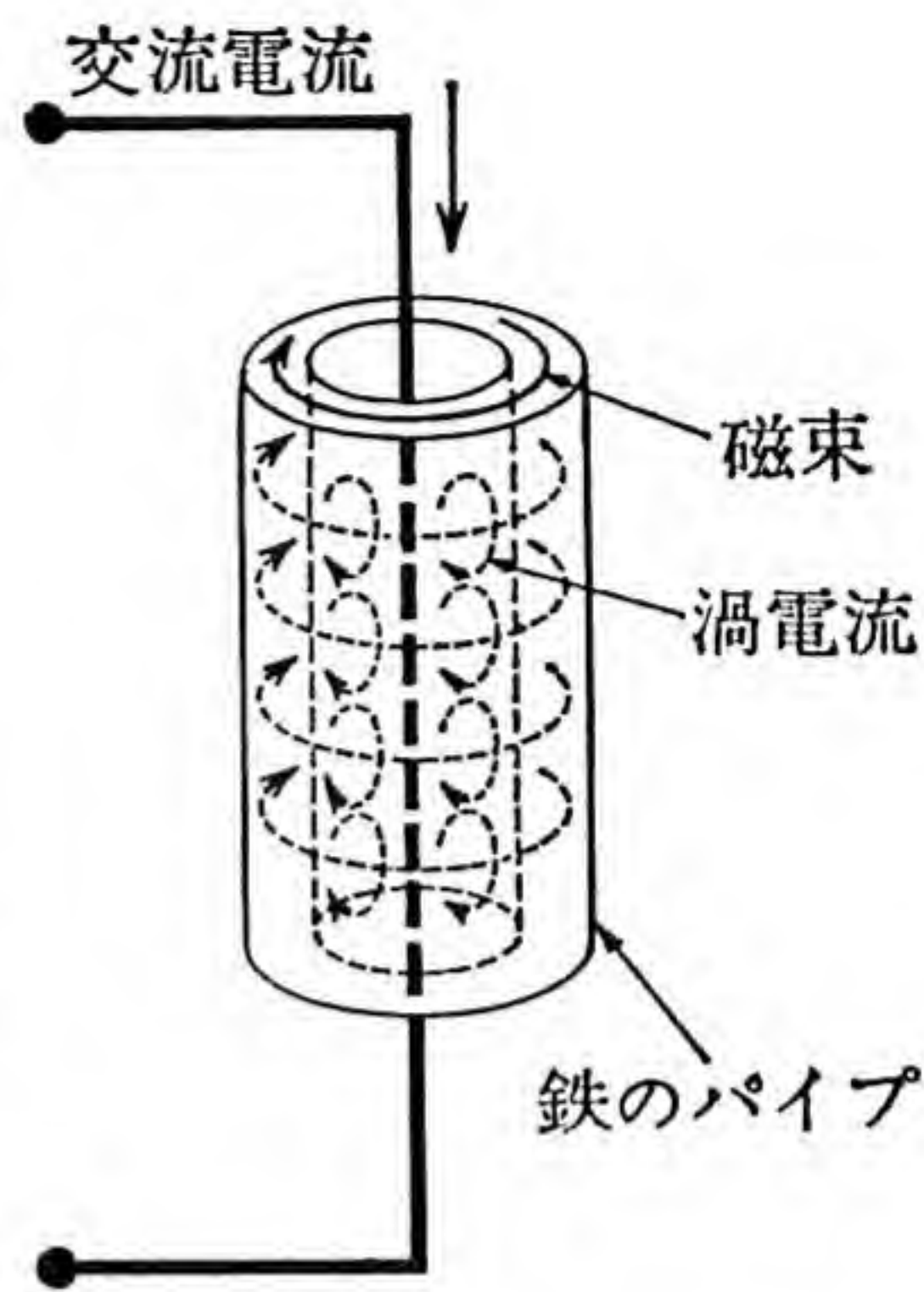
そこで、今回は北海道も仲間に入れようとしたのである。

ではなぜ直流を使うのか。昔、アメリカで、直流は〝交流との戦争〟に負けたはずではなかっ

電気系統の安定度のモデル。気体には圧縮性があるから，右の回転板にあまり大きな負荷がかかりすぎると，右側のピストンは左側のピストンに比して動きがおくれ，ついにはとまってしまう

たのか。

この疑問に対する答えは、実は先述の大停電の原因に求められる。

交流の〝サーカスの綱渡り〟のような同期運転の失敗が、とんでもない事故を起すのなら、思い切って周波数を〝零〟にしてしまえというわけである。

直流送電のもう一つの利点は、直流の最大電圧はそのまま連続して表われるのに、交流では一周期に二回、それも瞬時に出るだけだということである。ところが、たとえ瞬時でも、ケーブルやがいしなどすべての絶縁物は、この値をもとに設計しなければならない。したがって直流の方が〝絶縁物の利用率〟が向上することになるわけである。

こうしたわけで、今、世界の各国では直流送電ブームなのである。

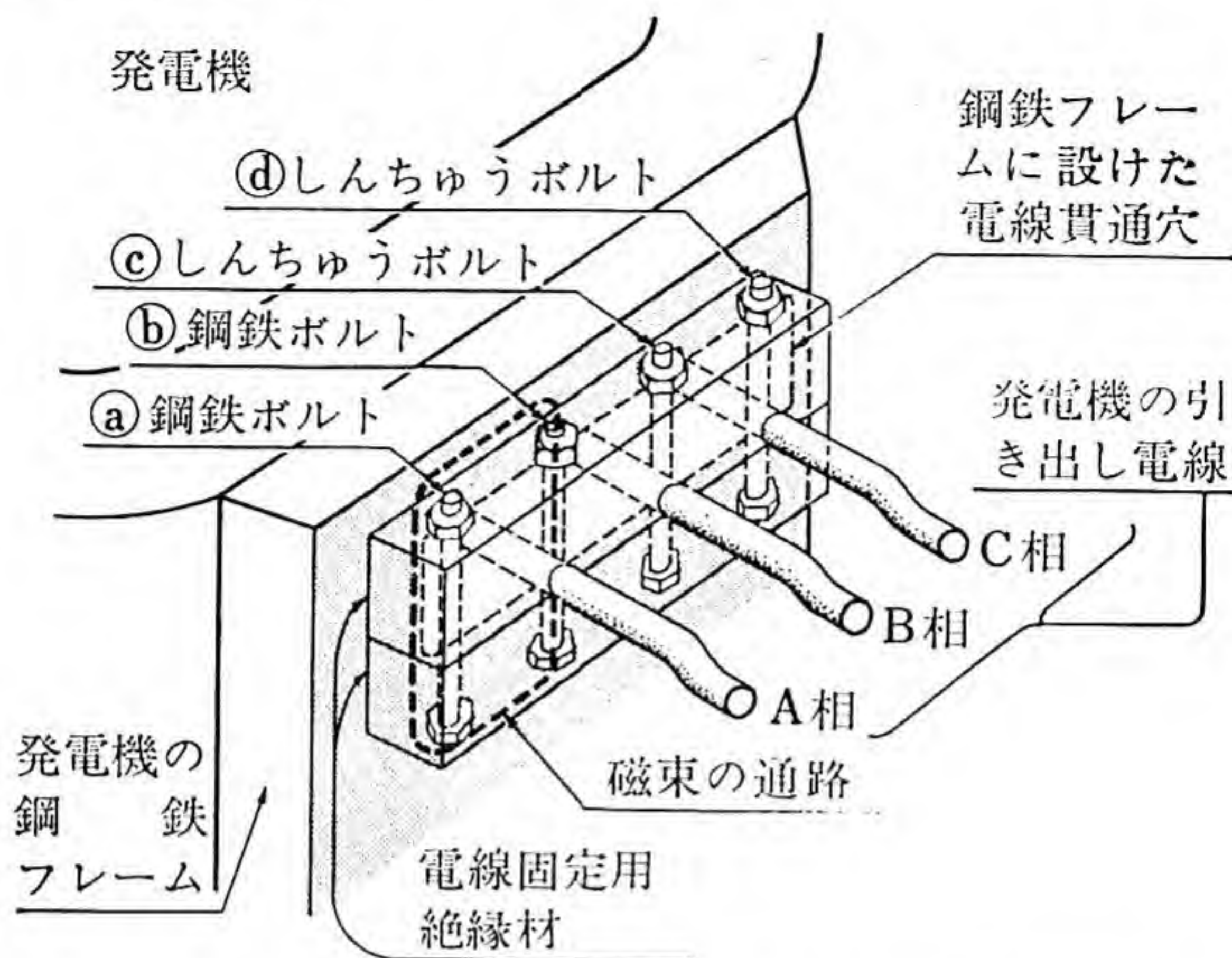
煙を出した渦電流

昭和三十五年の年の暮れも押しせまったある日、富山県の黒部川の上流に建設中のある大きな水力発電所の工事は終わりに近付いていた。そこでは今、発電機の乾燥運転が始まっていた。発電機の固定側のコイルを出口でわざとショートさせ、規定の電流を流し、そのジュール熱で発電機を乾燥させるのである。

交流電流
磁束
渦電流
鉄のパイプ

鉄パイプの渦電流

ところがしばらくするとあたりが焦げくさくなってきた。よく調べるとコイルの出口付近から煙が出ている。原因は組み立てのミスで、図のように磁束がループになる所は磁束をほとんど通さない真鍮のボルトを使うべきなのに、まちがって鉄のボルトを使ってしまったのである。つまり、これは渦電流のしわざである。

今、鉄のパイプの中に一本の電線をそう入して、これに直流を流す。このとき鉄のパイプはかっこうの磁束の通路となるが、それだけのことではパイプは過熱しない。

発電機の渦電流事故。A相の磁束が，bの鋼鉄ボルトと発電機の鋼鉄フレームとでできる閉回路に流れ，bに特に渦電流が生じた

次に交流を通じて見る。するとパイプは見る間に過熱する。

これは交流によってパイプにできる磁束が変化し、そのためにパイプの中を循環する電流（渦電流）が流れ、そのジュール熱によってパイプが過熱するからである。

これを避けるには、鉄のパイプには必ず電線を往復組み合わせて入れ、各瞬時の磁束が互いに打ち消し合うようにしなければならない。

もっとも鉄以外の材料、たとえばビニールパイプでは磁束が通らないから問題はない。

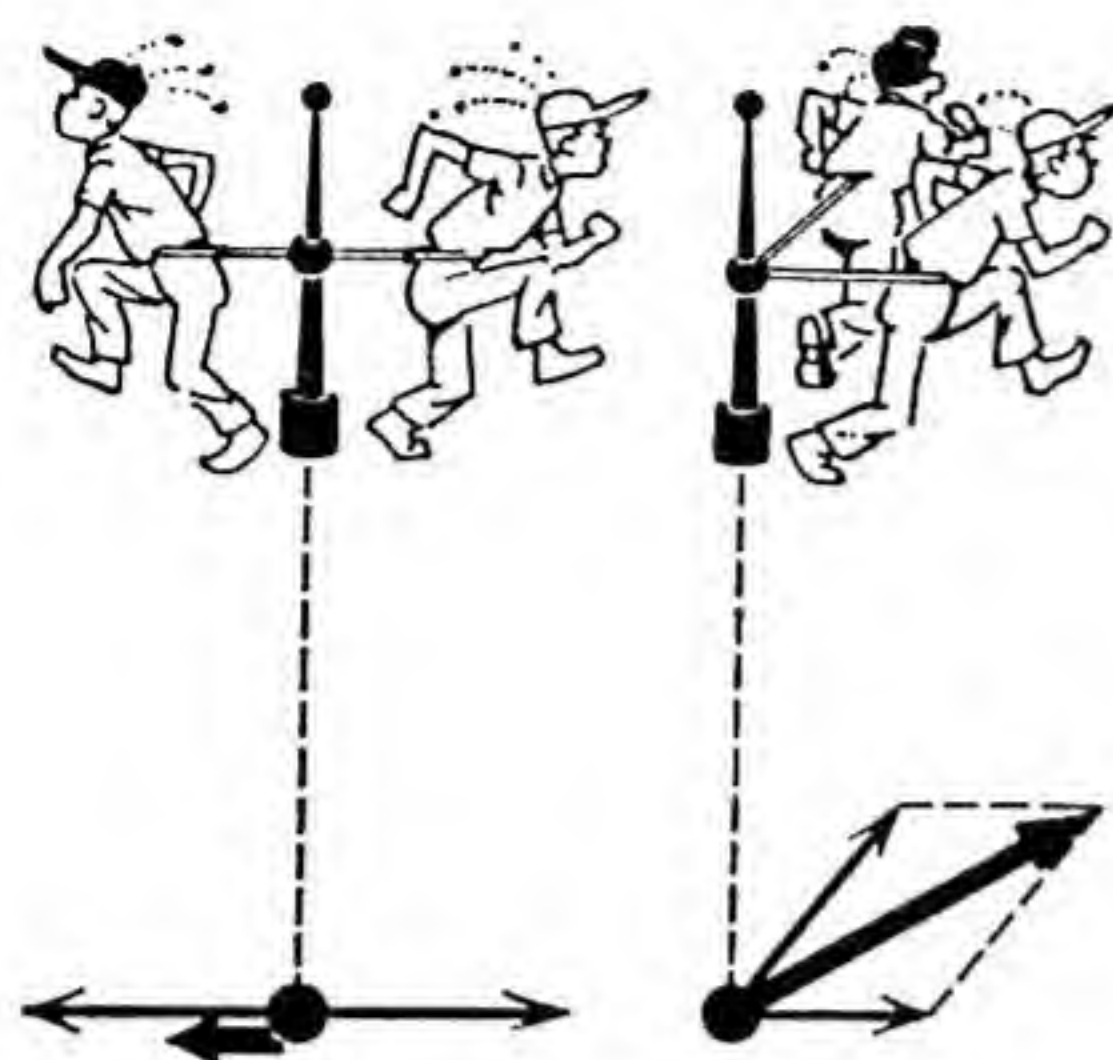
交流は、このように電流の向きがどんどん変わるのでトラブルを起こし易い。会社の中の活動家は注目され、業績を残すが、

力率。乗りこもうとする力（皮相電流）と実際に入りこめる流れ（有効電流）との比が力率である

一方、まわりを派手にかきまわす害もあるのと似ているようでもある。

力率の話

ラッシュ・アワーである。このとき、通勤を急ぐ乗客は列車に集中する。このとき、忘れものをした一人の客が出口をふさいだとする。せっかく整理された乗客の流れはそこでとまどい、乗りこもうとする力（A）に対して実際の流れ（B）は相当減少するだろう。つまり、BはAより幾分減少するはずだ。

この説明はあまり適当ではないが、交流を回路に流す場合もこうした現象が生ずる。つまり、電圧と電流からなる見かけの電力（皮相電力）より、実際の電力（有効電力）の方が小さくなる。そして両者の比

（小数）を力の比、「力率」という。

この力率が大きいほど、同じ有効電力に対して流す電流は小さくてすむから、電線も細くてすむ。

では、なぜ有効電力は電流と電圧をかけて出てくる皮相電力より小さくなるか。

それは、「リアクタンス」が入ってくるからである。

つまり、周波数が高くなるほど、リアクタンスは大きくなって、電流は流れにくくなる。このリアクタンスについては後ほど説明しよう。

交流では、リアクタンスの影響を受け、〝その障害を乗り越えるために〟コイルの場合は正規の電流（電圧と同じタイミングの電流）より九〇度おくれた電流が必要となる。だからこの二つの電流を合成した電流値は、当然正規の電流より多くなる。

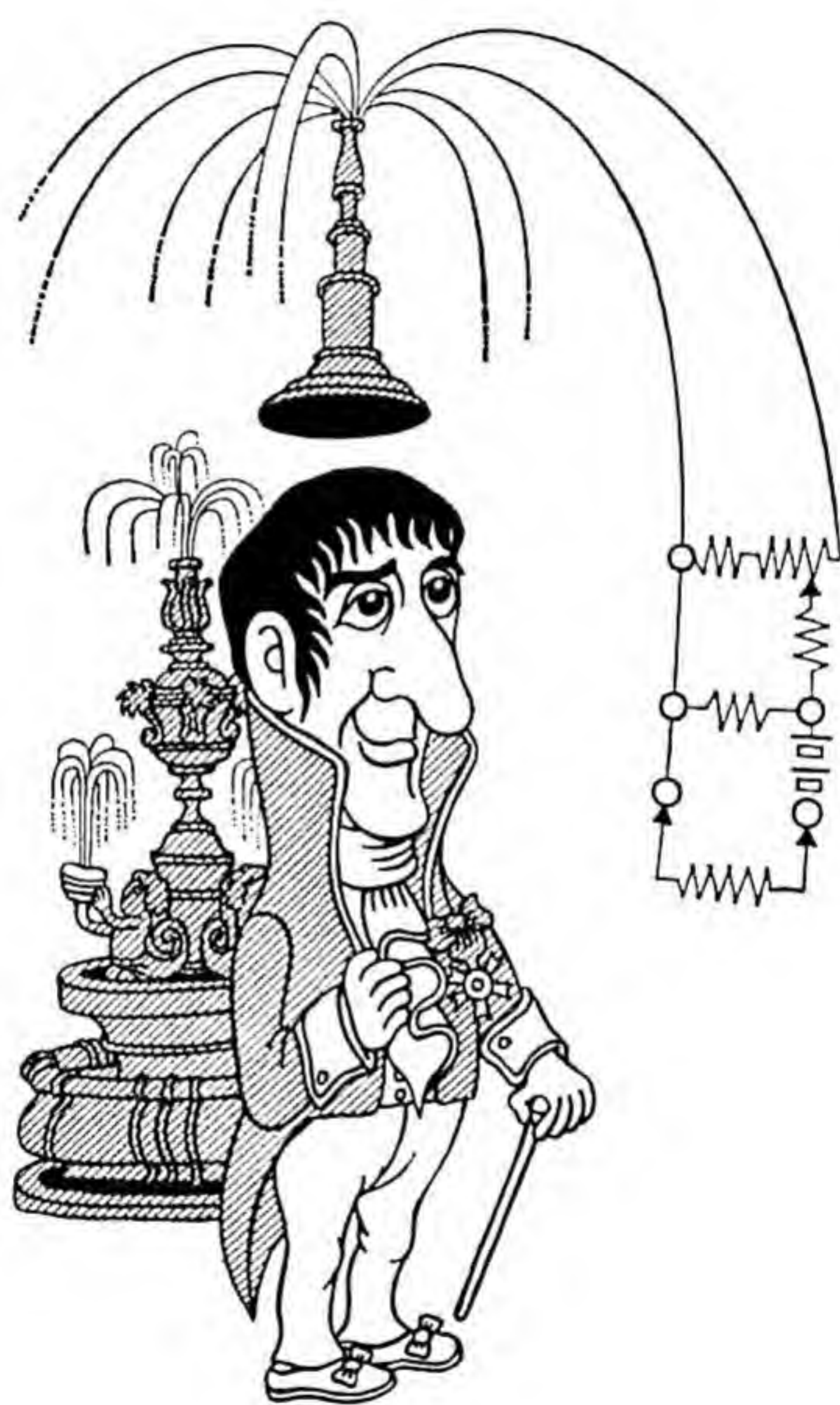
この正規の電流を合成電流で割った値（一以下の値）が「力率」に相当する。

力率の最大は一であって、抵抗だけでインダクタンス（後述）がない場合である。

ベクトル表示の例

なお、コイルのかわりにコンデンサーがある場合は、反

対に、電流が電圧より先に流れる（進む）ことになる。
この関係を表わすのに「ベクトル」表示法を使う。ベクトルはある量と方向を持った値の表示に適当である。
前ページの図の左は二人が互いにけんかして反対の方向に力を加えようとしている。これではまん中の木は中々倒れない。
一方、右は二人の力をできるだけそろえた場合で、こうすると二人の力のベクトルの合成力は、平行四辺形の対角線で表わすことができる。中央の木には相当の力がかかることがわかるだろう。
ところで有効な電力を送るために、必ず無効電力がついてまわるとはちょっと変だと思われるかも知れない。無効電力はエネルギーではないから、これはエネルギーである有効電力を作り、送り、使うための〝触媒〟のようなものだといえる。そして実は、この触媒が必要だということが交流送電の欠点の一つである。
そして、今、電気社会のエリート族「交流一家」も一つの危機に直面している。先程も述べたような「直流一家」のなぐり込みだ。
ただし、それは大量の電力を長距離にわたって輸送する場合だけで、われわれの家庭には影響がないから安心して頂きたい。

3　電圧、電流、抵抗

電圧とは

このへんで、今まで黙って使ってきた電圧、電流、抵抗などについて吟味しなければなるまい。

かりにいまバケツ一ぱいの水を高い所へ持ち上げることを考える。そのとき水は重い、つまりわれわれは地球の重力に抗して仕事をしなければならないから、目的の位置が高ければ高いほどたくさんの仕事をしなければならない。しかし、逆に高い所へ上がった水ほど、落としたときに大きな仕事をする。また同時にその水の量が多ければ多いほど、なされる仕事の量も大きい。

電圧とは、電気の世界におけるこのような高さだと思えばよいだろう。もっとくわしくいえばその高さは電位といい、高い電位にある電気は低い電位に移るときに仕事をする。そして測定する二ヵ所の電位の差を電位差または電圧という。右のたとえでいえばバケツ一ぱいの水は、単位電気量に相当し、それを無限に遠方から、ある電界に電気力に抗して運びこむ仕事量が、その電界の電位である。

電圧の単位には「ボルト」を用いる。

電池を発明し、静電気から、〝使える動電気〟の時代へ移るいとぐちを作ったイタリアの物理学者、ボルタの名からとったものだ。

日本では、通産省令で出ている「電気設備の技術基準（以下基準と呼ぶ）」で、電圧を低圧、高圧、特別高圧にわけている（六七ページの表を参照）。

日本の家庭では、大部分が一〇〇ボルトで、大きなモーターなどでは二〇〇ボルトが使われる。これらはみな低圧である。

電気エネルギーの量（有効分）を表わす電力は、基本的にはその電圧と電流をかけたものだ。ポンプの出力が水圧と水量とできまるのと同じである。

だから同じ電力を送るときでも、電圧を高くすると逆に電流は小さくてすみ、細い電線が使え、途中での電圧降下が小さくなる。そこで送電線や配電線はみな高圧以上を使う。たとえば変電所から家庭の近くの電柱まで送られる電圧は三・三キロボルトや六・六キロボルトなどの高圧が多い。

海外の電圧の標準は日本より複雑であって、特に二〇〇ボルトが多い。そのため海外向けの電気器具には、一〇〇ボルトから二五〇ボルトぐらいまでの間を細かく切り換えられるようにしたものが多い。

単相交流電力（ワット）＝
電圧（ボルト）×
電流（アンペア）×力率

⇕

ポンプの出力(キロワット)＝
9.8×水圧（メートル）×
水量（毎秒立方メートル）

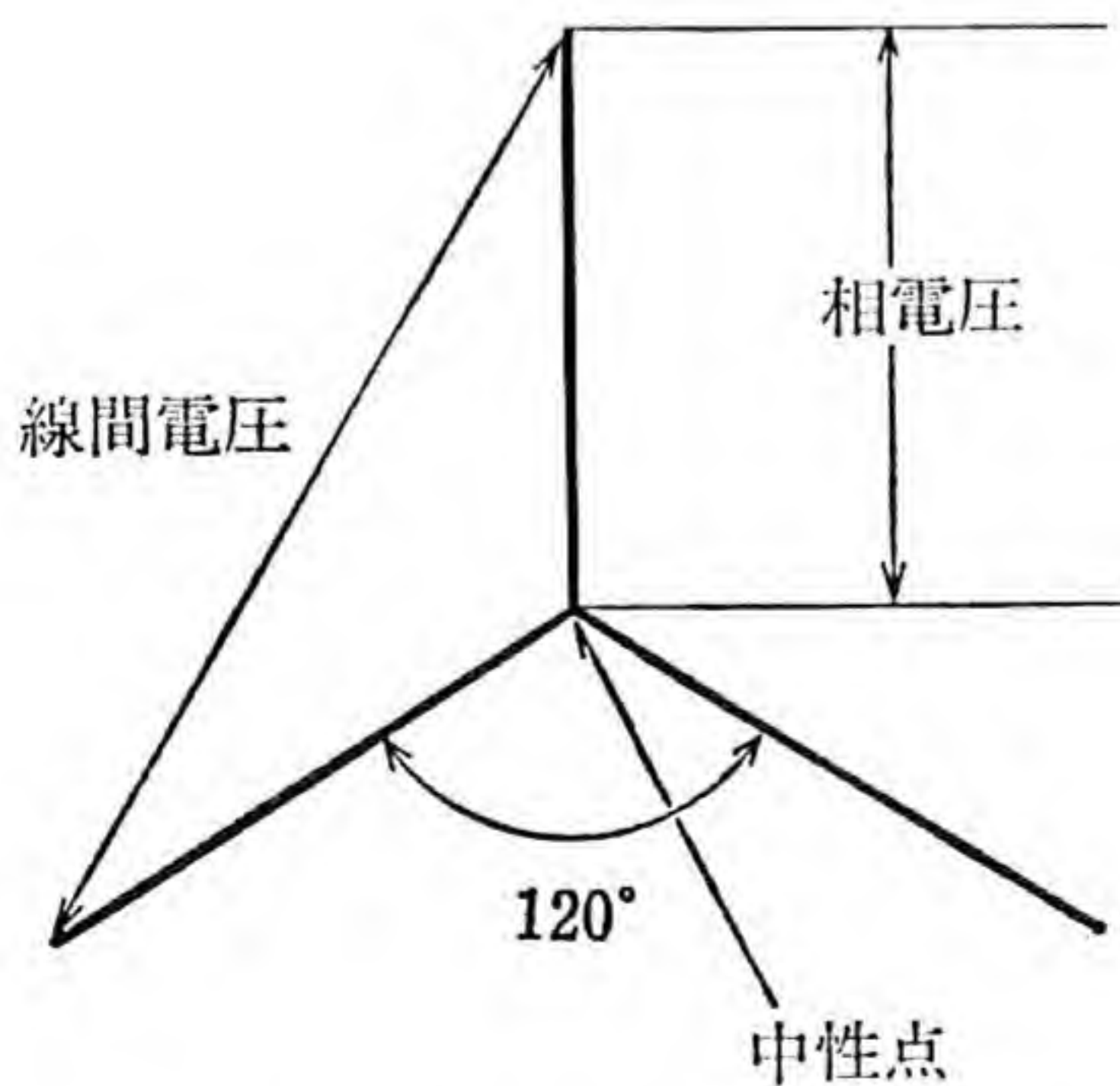
電圧，電流，電力の関係

変動する電圧

(ボルト)

日　本	アメリカ	イギリス	ドイツ	IEC 標準	
				シリーズ—①	シリーズ—②
100	120	230/400*	125	単相 125	単相 120
200	120/240	400	250	単相 220	単相 120/240
100/200	120/208*		220/380*	3相 127/220*	3相 120/208*
400	240		380	3相 220	3相 240
230/400*	480		500	3相 220/380*	3相 240/415*
415	600		750	3相 380	3相 277/480*
240/415*				3相 500	3相 480
					3相 600

IEC：国際電気標準会議

(注) ＊のついた電圧は“相電圧／線間電圧”の順序で示す。３相回路では、線間電圧は相電圧の$\sqrt{3}$倍になる。

世界の主な低圧標準電圧

私のある水力発電所の所長時代の話である。そこから七七キロボルトの送電線で近くのレーヨン工場へ送電していた。

ある日、「送電系統」に一時的な電圧降下があった。ものの数秒ぐらいだったと思う。

たちまち工場から電話があった。

「ただ今の電圧降下でレーヨン加工工程が中断し数百万円の損害が出ました」

これほどでなくても、電圧は電気の〝全権代表〟だから責任は重い。

だから電力会社はそれぞれサービス基準を作り、電圧、周波数の変動範囲と、年間の停電時間の限度をきめている。この三要素は電力供給の基本で、一国の立法、行政、司法の三権分立みたいなものだ。どれ一つ欠けてもこまるわけである。しかもそれぞれが独立した要素である。

電圧、電流、抵抗

一般需要家の電灯や低圧動力の電圧の基準は各電力会社とも一〇一ボルト±六ボルト、および二〇二ボルト±二〇ボルトとしている。これは、電気事業法施行規則できめられた値である（電気事業法は昭和三十九年七月十一日に法律第一七十号として公布された）。しかし、当面の目標値としては、多少これよりも大きい値をとっている会社もある。

また、高圧需要家の電圧基準は、各電力会社により異なるが、六〜六・九キロボルト、および三〜三・四五キロボルトで、許容変動幅は約一〇パーセントとするところが大部分である。

家庭の電気器具でも電圧の変動で困るものが多い。一般に電圧が下がると、モーターなら回転

が下がり、極端な場合、コイルが焼ける。ランプなら暗くなる。

またこのような〝連続的な支障〟より、もっと困るのはある値以上電圧が下がると急に役に立たなくなるものの場合だ。

夏の夜、打ち水した庭の芝生に映える水銀灯はなかなか美しく情緒がある。ところが、これがまた「電圧アレルギー」ときているから始末が悪い。

水銀灯はガラス管の中を真空にして、水銀と微量のアルゴンなどを入れたものだ。冷えて液体水銀または低圧の水銀蒸気の状態で点灯し、高圧の水銀蒸気になって高い輝度の光を放つ。だから瞬間的な停電や電圧降下でも放電が止まり、あとは冷えるまで待たねばならない。水銀蒸気の温度が下がって、放電をはじめる電圧が電源の電圧より低くなって、はじめて点灯する。この時間はＪＩＳ（日本工業規格）では一〇分以下ときめられている。けい光灯は電圧が下がると放電は止まるが、電圧が回復すると、始動装置ですぐ放電をはじめる。

だから家庭の照明ではひんぱんに点滅する所や非常灯には水銀灯は使えない。非常灯には電圧に敏感でない白熱灯が一番よいということになる。

直流、交流の別 / 呼び名	直　流	交　流
低　　圧	750ボルト以下	600ボルト以下
高　　圧	750ボルトをこえ、7,000ボルト以下	600ボルトをこえ、7,000ボルト以下
特別高圧	7,000ボルトをこえるもの	

（なお、このほかに 200,000ボルトをこえるものを一般的に超高圧と呼ぶ）

電圧の呼び方（電気設備の技術基準による）

また、後にも述べるが、感電の危険さは、いちがいに電圧の高低によるものではない。

とは言っても、統計的にはやはり電圧は、一般的な〝危険度のパラメーター〟と考えられるだろう。

基準から少し引用しよう。

まず、遊園地の「おとぎの電車」。電圧は直流では六〇ボルト以下、交流では三〇ボルト以下だ。これより高いと一般の電気鉄道なみに扱われる。

次は電気風呂。正確には電気浴器だ。浴そうの両端に板状の電極を置き、その間に弱い交流をかけて、入浴者に電気刺激を与えるものである。

常識で考えてもこれは大変危ない電気の

使い方で、家庭では非常に危険だが、〝専門家が作るとすれば〟の条件で、電極の間隔は一メートル以上で、電圧は一〇ボルト以下となっている。

クリスマス・ツリーの豆電球。これは一個あたり二五ボルト以下になっている。

日本では家庭での屋内配線では、一般に〝電気回路とアース（後述）との間の電圧（対地電圧）〟は一五〇ボルト以下としなければならない。

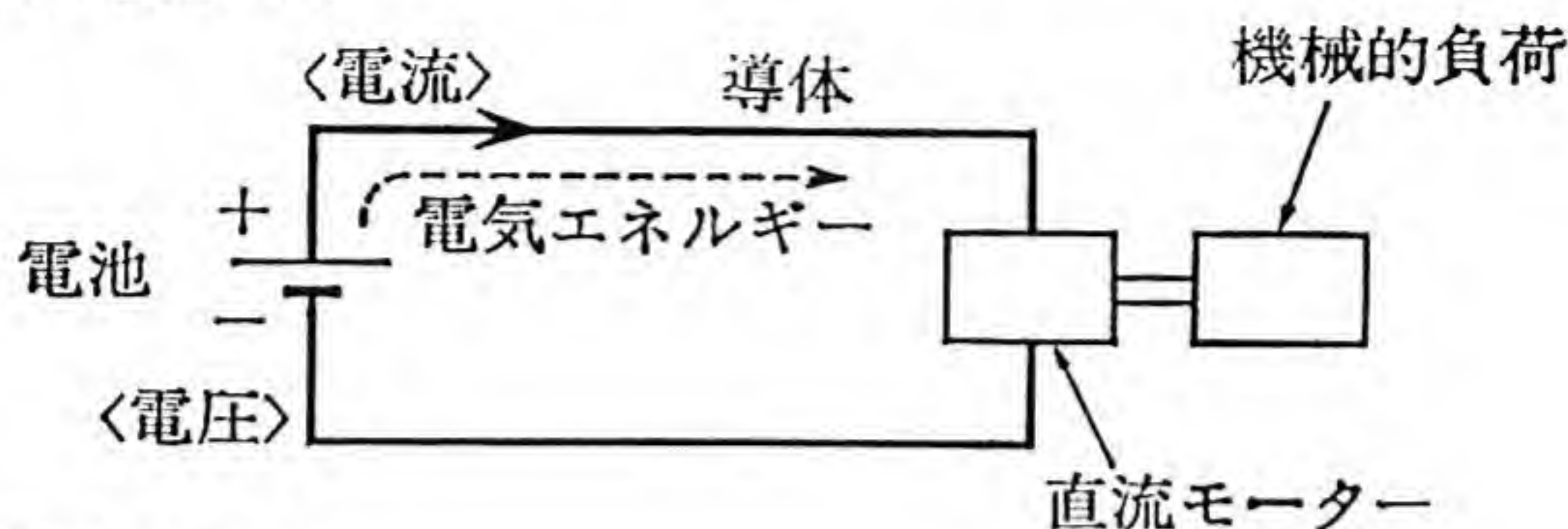
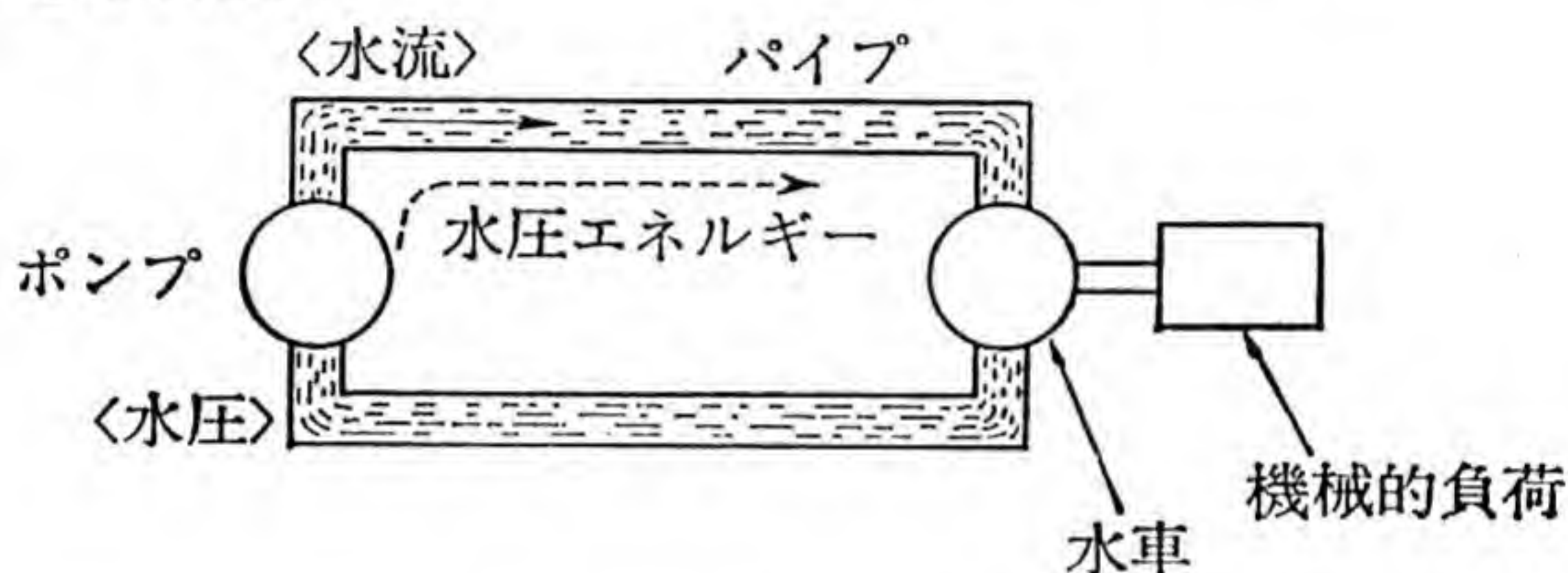
夜の街に美しく輝くネオン灯は、昼間見るといかにもグロテスクである。看板にガラス製のがいしをとりつけ、それにネオン管を簡単にくくりつけてある。

この簡単そうに見える装置には、実は最高一万五〇〇〇ボルトの電圧がかかっている。きれいなバラにとげがあることをお忘れなく。

そういえば、テレビセットの中にも一万ボルト以上の電圧がかかっているから、中を掃除するときは、まずコンセントからコードを抜くことが必要である。

電気の飛脚「電流」

野球のボールの持つ運動のエネルギーは、ピッチャーの手からキャッチャーの手へ運ばれる。この場合、運ぶ手段はボールそのものである。

このようにエネルギーを伝える媒体は世間にはたくさんある。

直流回路と水流回路の比較

たとえば自動車の圧油ブレーキがある。運転手がペダルをふむとパイプの中の油に圧力ができ、車のシリンダーに伝達され、ピストンを押してブレーキがかかる。

この場合、油が運動エネルギーの媒体である。

このようなエネルギーを伝える媒体のもつ条件としてはいろいろある。要は途中の損失が少なく、時間おくれがなく、大量に伝えられるものが望ましい。

電気エネルギーを伝える媒体は、一般に電子で、それは電気エネルギーをかついで導体の上を移動する（この「上」には少し表現上の問題があるが、これについては後で述べる）。

次に電流回路と水流回路とをくらべて見

よう。前ページの図のAは電池から二本の線で電力を直流モーターに伝える回路である。Bはこれに対応する水流回路で、あらかじめ水の充満したパイプの中の水をポンプで循環させ、水車を回す。

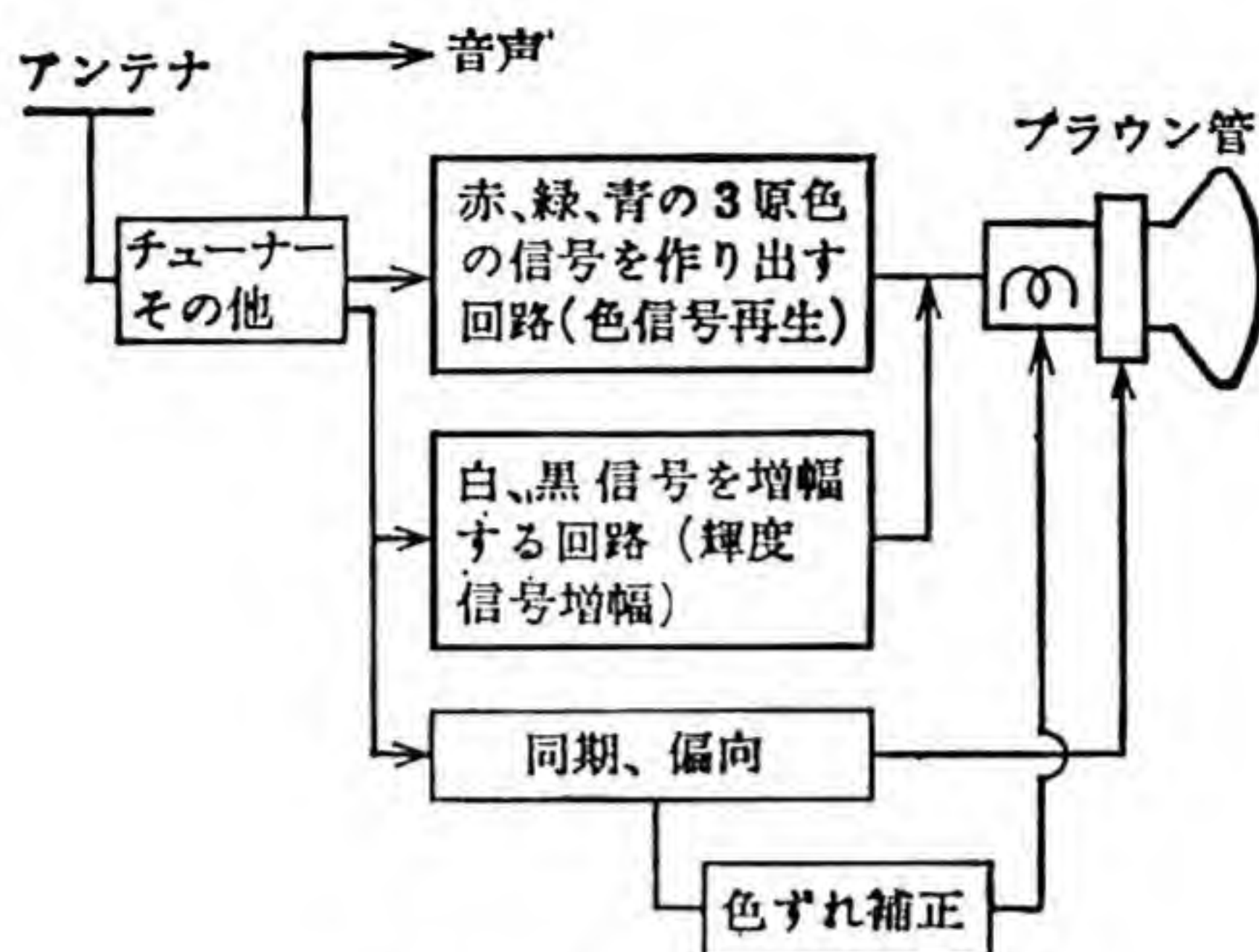
この場合、電圧と水圧、電流と水流が対応する。

大切なことは、電気回路では電圧を加えると同時に導体の各部の原子を形作る電子のうち、比較的自由に動き回れる電子（自由電子）が一せいに移動し出すことである。

これに対応させるためには、パイプの中にはあらかじめ水が充満していて、水圧が加わると同時に水のエネルギー（水圧波）が伝播するようになっていなければならない。

電気エネルギーの伝わる速度は光の速度、すなわち毎秒 3×10^8 メートルで、一方、水圧波の速度は水中の音速に等しく、周囲の壁が「剛体」のときは、毎秒約一・四キロメートルである。

この場合、光速で伝わるのは電流ではなく、電気エネルギーであることを強調したい。電流はエネルギーが伝わっている間の毎秒の電気量なのである。

なお剛体とは、弾力性のない物体のことで、水力発電所の水圧管のように、鉄板を曲げて作ったパイプでは、かなりの弾力性がある。だから、水圧波ができると、瞬間にその周囲のパイプが押し広げられるから、部分的に水の体積がふえ、水圧波の伝達速度は相当おそくなる。毎秒七〇〇メートルぐらいになる例もある。

カラーテレビ受像機の回路

いま地球と太陽の間に電線を張って、スイッチを入れたらどうだろう。電圧が加わると、電気エネルギーは一せいに伝播しはじめる。太陽と地球との間の距離は約149×10⁶キロメートルだから、約八分後に、太陽にとりつけた電灯はともることになる。しかし、光が伝わるのに八分かかるから、結局、スイッチを入れてから一六分後に太陽の電灯がともるのを地球から眺めることになる。

しかし導体中の電気エネルギーの信号伝達速度は、「遅延回路」を用いて道草を食わせるとほんのわずか（7×10^{-7}秒程度）おくらせることができる。カラーテレビセットの中にこのアイデアが実用化されている。

日本などで用いているカラーテレビ方式（NTSC方式）は、白黒受像機に色信号を再生する回路を付け加えたものである。

そのため、画面の白黒を表わす輝度信号回路とカラーを表わす色信号回路がタイミングよく重なり合うことが必要

である。

ところが色信号回路には多くのフィルター回路があるので、電気信号の伝達速度が少しおくれる。そのため輝度信号回路にわざと速度をおくらせるような回路がつけてある。

電気エネルギー信号の伝達速度のコントロールという身近な一例である。

「オームの法則」

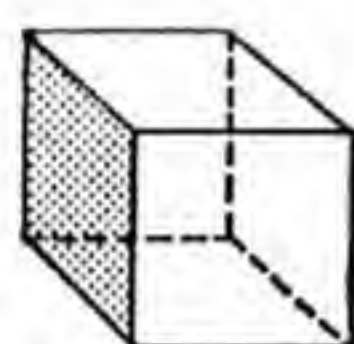
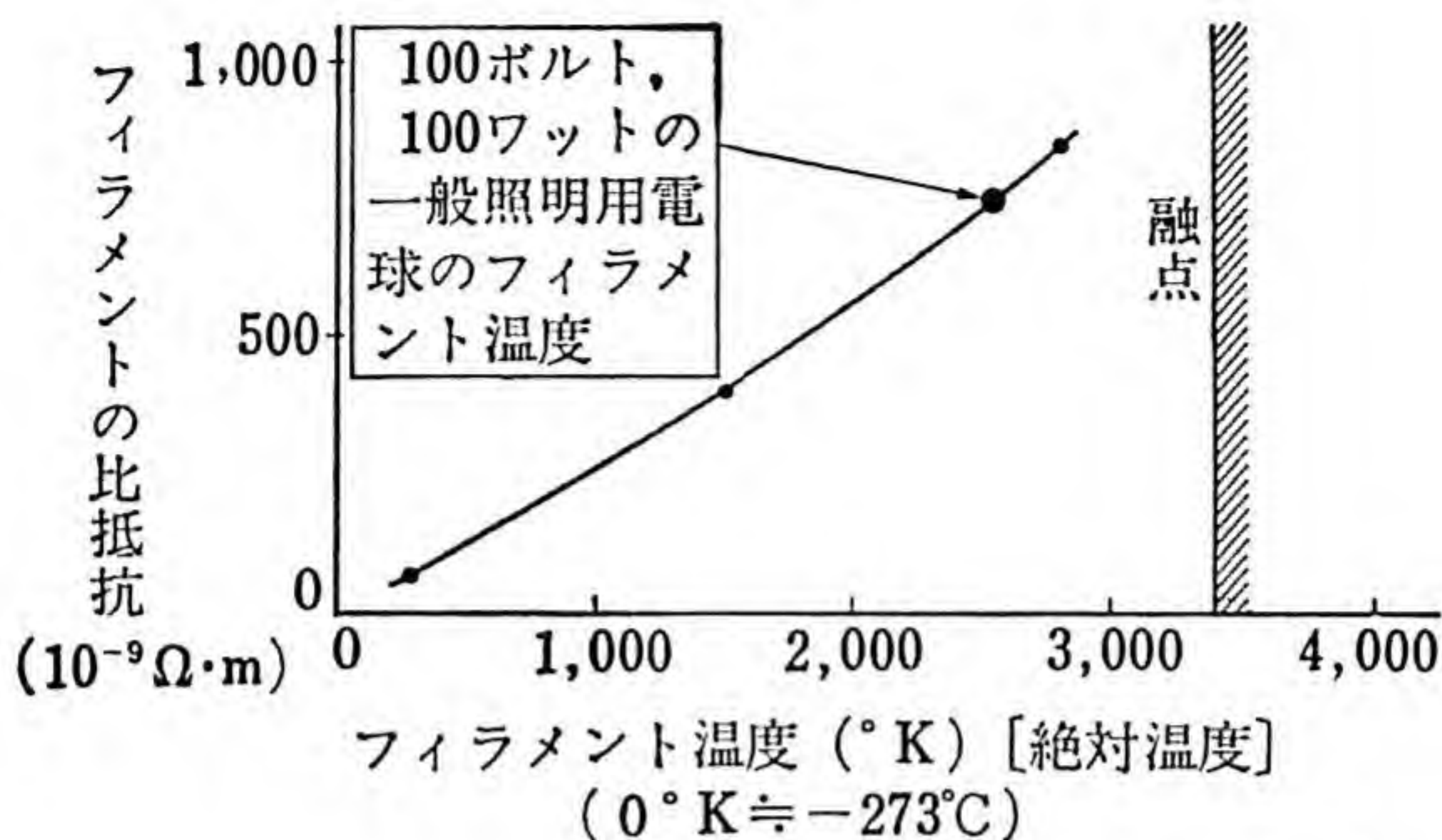
電圧と電流が出てきたので、もう一つ抵抗の単位をおぼえて頂こう。

水面を走るボートに水の抵抗があるように、電流が通ろうとすると必ず抵抗ができる。

抵抗の単位には、「オーム」を使う。ドイツの有名な物理学者、オームの名をとったものである。

オームは、電圧と電流と抵抗の関係が簡単な公式で表わせることを一八二七年に発表した。彼は多くの実験結果から、電流の大きさは電圧に比例し、抵抗に反比例することを発見したのである。

たとえば五オームの抵抗体に、電池で（つまり直流で）一〇ボルトの電圧を加えると、電流は

$$電流 = \frac{10(ボルト)}{5(オーム)} = 2\ (アンペア)$$

Ω・m（オーム・メートル）で表わした比抵抗は、左図のように断面積1 m²，長さ1 mの物体の両端間の抵抗値である

タングステン・フィラメントの抵抗の変化

となる。

ところで、抵抗はいつも一定の値を示すとは限らない。

白熱電球の中のフィラメントは、常温では比較的抵抗値が小さいが、点灯して温度が上がると抵抗値もそれに比例した分だけ加わって大きくなる。

一方、カーボンなどの金属以外の導体は、温度が上昇すると反対に抵抗が小さくなる性質がある。

つまり抵抗値は必ず温度により変化するものである。

一般に高圧は危険で、低圧は安全だと考えられ易い。しかし、人体への危険度は、人体に流れる電流によってきまるもので、電流を左右する人体の抵抗は、体質、健康

など多くの要素で変わる。

普通の大人の体の抵抗は、体内が一五〇～五〇〇オーム、皮膚は五〇〇～五〇〇〇オーム程度である。特に皮膚の抵抗は、性別、年齢、充電部との接触面積などによって変化し、汗ばんだときや水気の多いときは当然小さくなる。

今、地面に対して一〇〇ボルトの電圧のある電線に手がふれ、電流が直接地面にはだしで接している足へ流れたとする。

電流はオームの法則により、

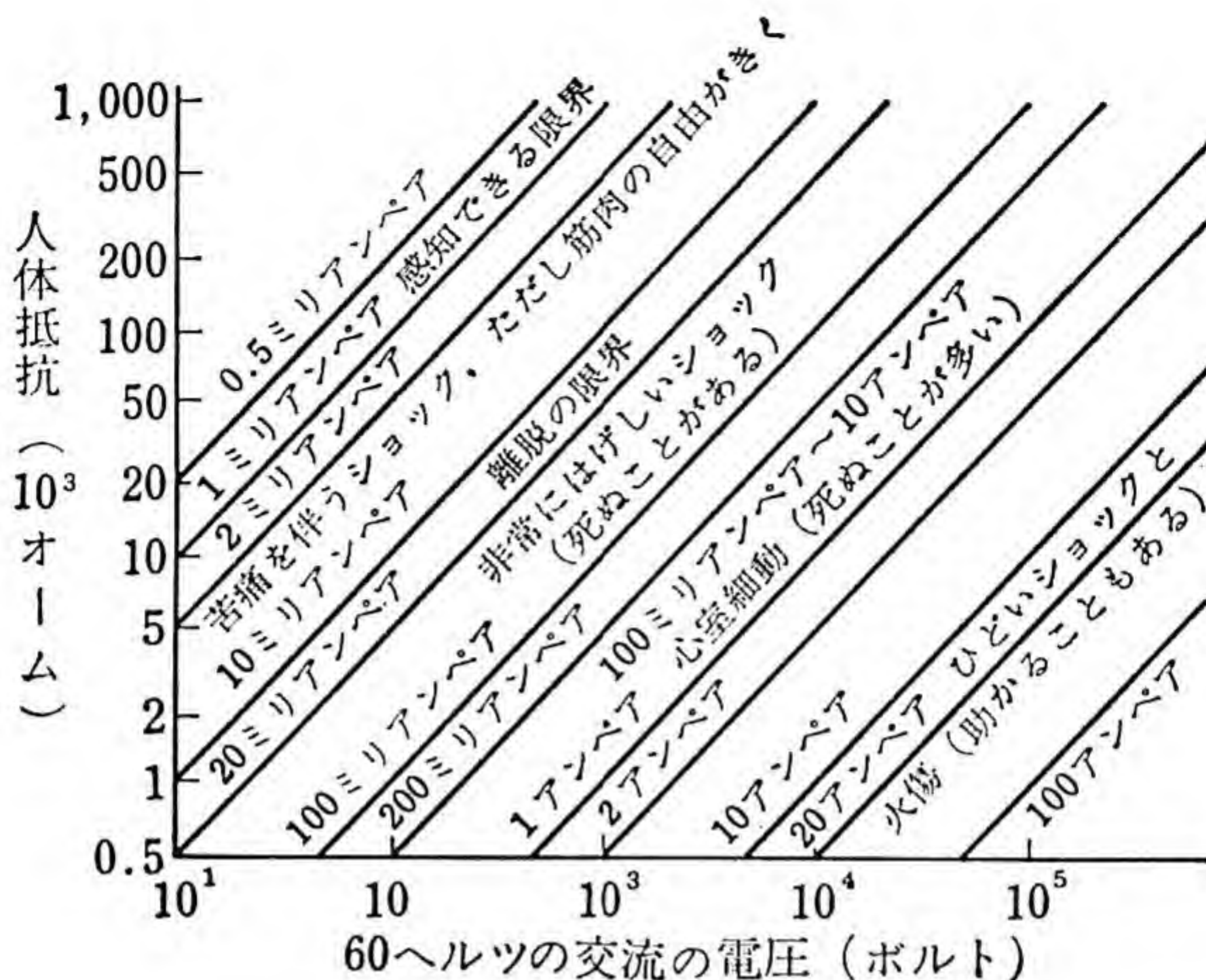
$$電流 = \frac{100（ボルト）}{(3,000〔手〕+300〔体内〕+3,000〔足〕)（オーム）} = 0.016アンペア$$

〇・〇一六アンペアとなる。

これは図から見て大変危険なことがわかる。

だから、どんなときでも、はだしで電線にふれてはならない。たとえ、絶縁電線やスイッチの絶縁部分でも、はだしは万一の場合、きわめて危険だ。

非直線抵抗

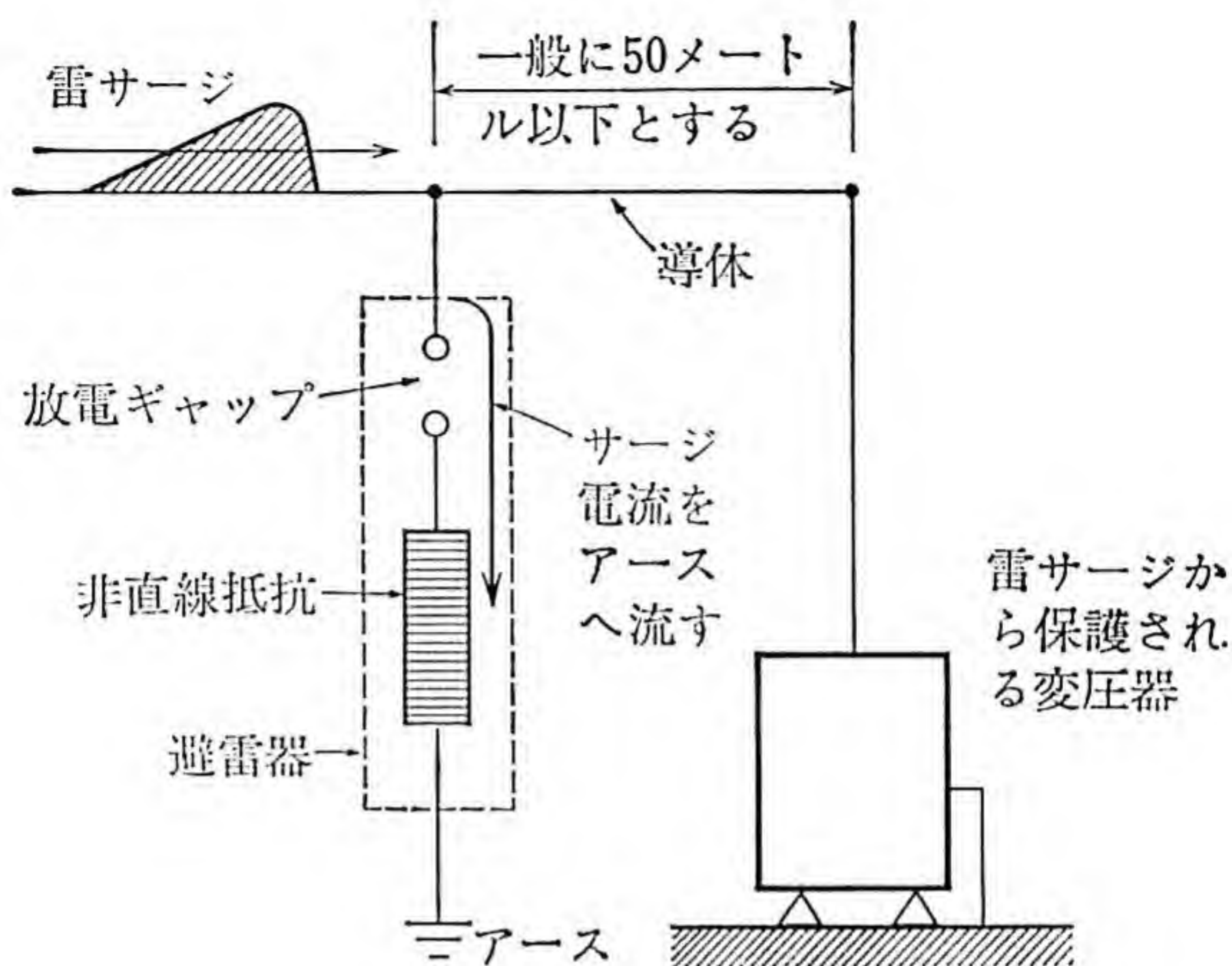
一方、電流の増加によって、抵抗値が小さくなるものもある。

交流電撃の影響（成人男子）

つまり、電流と電圧とが比例関係（グラフで描くと直線になる関係）にないものだ。だから、これを「非直線抵抗」と呼ぶ。

人間社会での例を示そう。

今、奥さんが立派な着物を買おうとする。一般にご主人の反対力は一定である。ところが、奥さんの説得力（電流）があまり大きいと、それにつれてご主人の反対力（抵抗）が腰くだけになり、小さくなることも考えられる。

このような抵抗体は、雷の被害から電気設備を守るのに使う「避雷器」にも使われている。

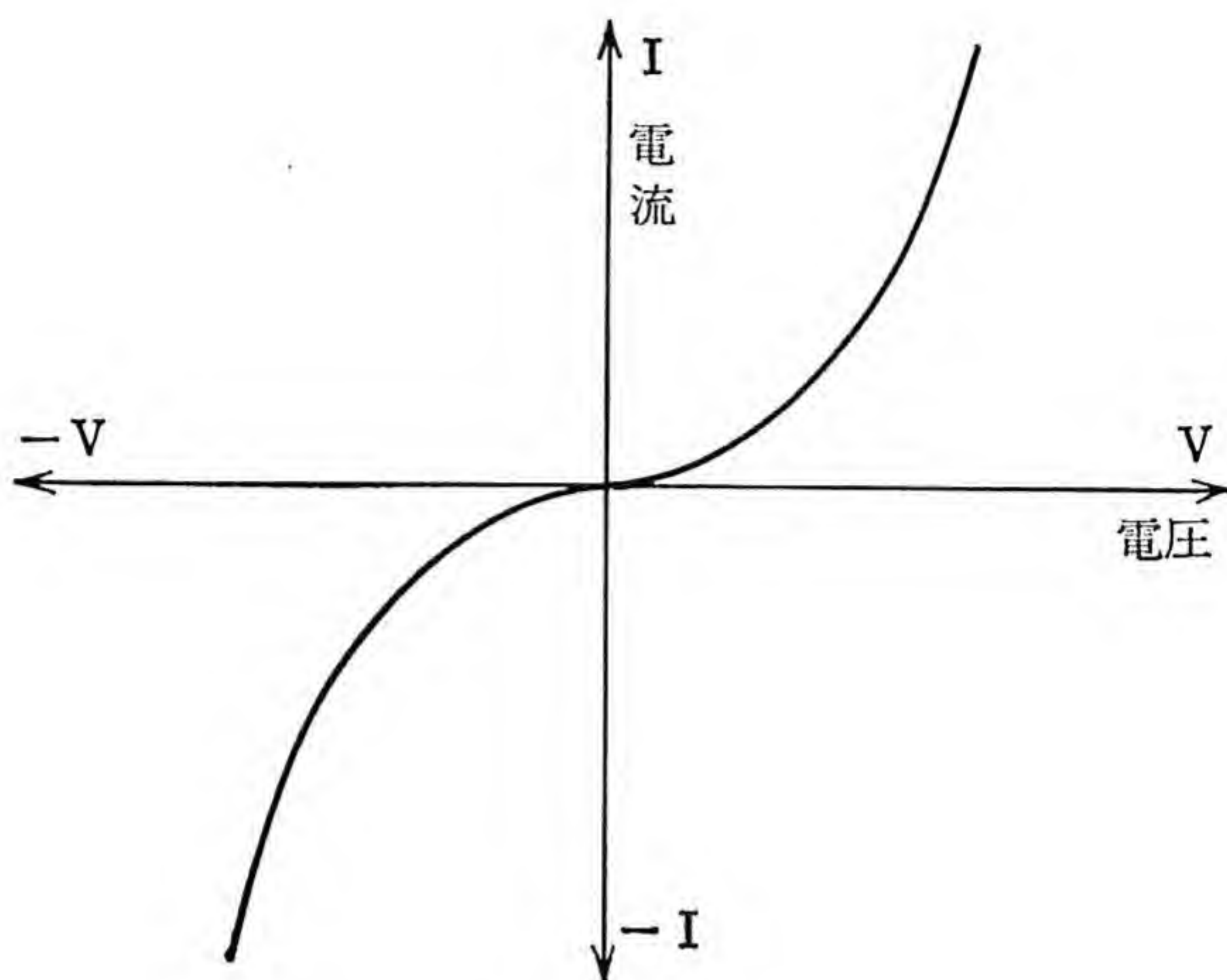
避雷器は発電所や変電所や、配電線など電気の通路の要所要所にとりつけてある。中身は一定の間隔をおいたギャップ（電気

避雷器。都合よくできたスイッチの一種と言える

の通るすきま）とそれにつながる非直線抵抗体とからなる。

避雷器は平常は電気を通さない。しかし、一定の大きな衝撃的な電圧（サージ）が加わると、ギャップの間を電気が通り、非直線抵抗体に電流が流れる。そこで都合のよいことに、この抵抗体は電流が多く通ると、急に抵抗値が小さくなる。だから抵抗の両端の電圧も急減する。そのため回路には大きな電圧が加わらないわけである。避雷器は本来の目的からいえば、「集雷器」（Arrester）である。もちろんサージが通り終わると、もと通り電流を通さなくなる。

世の中の現象は大部分が非直線関係にあるようだ。

それにしても、人間社会での避雷器に相

バリスターの特性

当する〝火消し役〟があれば便利だと思うがいかが。案外、あなたの側に一人位はいるかも知れない。

非直線抵抗の実例を示そう。

サーミスター材料は半導体の一種である。これは、電流が流れて発熱すると、抵抗が減るので電圧降下が減少し、このため、電圧と電流が互いに比例関係を保たなくなる。

これらは、一般に抵抗・温度特性を利用して、温度測定や制御を行ない、電圧・電流特性を利用して、電力計、自動ゲーン調整器などに用いる。

バリスターは、もっと徹底した非直線抵抗材料である。

サーミスターが通過電流による加熱の効

果により抵抗が変わるのに対し、バリスターは、本質的に電圧・電流特性が非直線のものである。これは一般にカーボランダム（シリコンと炭素の化合物）を原料として成形焼成したものである。先述の避雷器に用いるのもこの形である。

バリスターがなぜこのような特性（単純なオームの法則に従わない）を持つか、その原因は今日ではまだはっきりしていない。

一般に、相互に接触した各粒子の表面に作られる障壁（キャリヤー＝後述＝の通過をじゃまする山）や、局部的な接触抵抗によるジュール熱の効果などが組み合わさっていると考えられている。

次に、オームの法則は電気以外でもかなり適用される。

熱の場合を考えよう。

温度の違うA、B二つの区域を断熱材で仕切る。今、AとBの温度差をV（度）、断熱材の熱抵抗をR（度／ワット）とすると、断熱材を通る熱流A（ワット）は、電気のオームの法則と同様に、

$$\text{熱流}〔A〕=\frac{\text{温度差}〔V〕}{\text{熱抵抗}〔R〕}$$

で求まる。

やろうとする意思（電圧）、反対する力（抵抗）、その実現の可能性や成功の度合（電流）……。この三つの関係がそれである。

抵抗値をはかるには

「テスター」という便利で経済的な道具がある。正しくは「ユニバーサル・テスター」という。この名の通り、われわれの身近で使われる程度の電圧、直流電流、抵抗の値などを、簡単に測定できるのである。

ラジオやテレビをはじめ、家庭電気器具のちょっとした故障、コードの断線、そして屋内配線のチェックなど、まことに便利な働きをするものである。それからまた、中学生以上の教材としても役に立つものである。

「テスター」で抵抗値をはかるには、オームの法則が用いられている。メガーの場合も同様である。つまり、測ろうとする抵抗にいくらかの電流を流して、その値をよむのである。

ただし電圧は、規定の値に保つか（これはメガーの場合による）、あるいは電圧が下がるのは仕方のないものとして、その代わりに二本のテスト棒をそのままつないだときの電流値が規定値を指すように、メーターにかかる電圧を調整（これはテスターの場合）するのである。

手回し式のメガーでは、中に直流発電機が入っていて、ハンドルをある程度以上まわすと、クラッチが外れ、発電機が一定速度でまわり電圧が一定値になる。しかし、テスターは乾電池を内蔵しているので、調整用の抵抗で電圧を加減することが必要である。

ミスター・インピーダンスの弁

これまでの話は電圧、電流、抵抗といった電気一家の紹介である。

そして三者の間には「オームの法則」という実験式の関係があることもわかった。

そしてそれが連続して当てはまらない例もかなりあることを知った。

「直流」の場合はこれで十分だ。しかし、変わり物で口八丁手八丁の強者、「交流」が現われると話はそう簡単ではない。

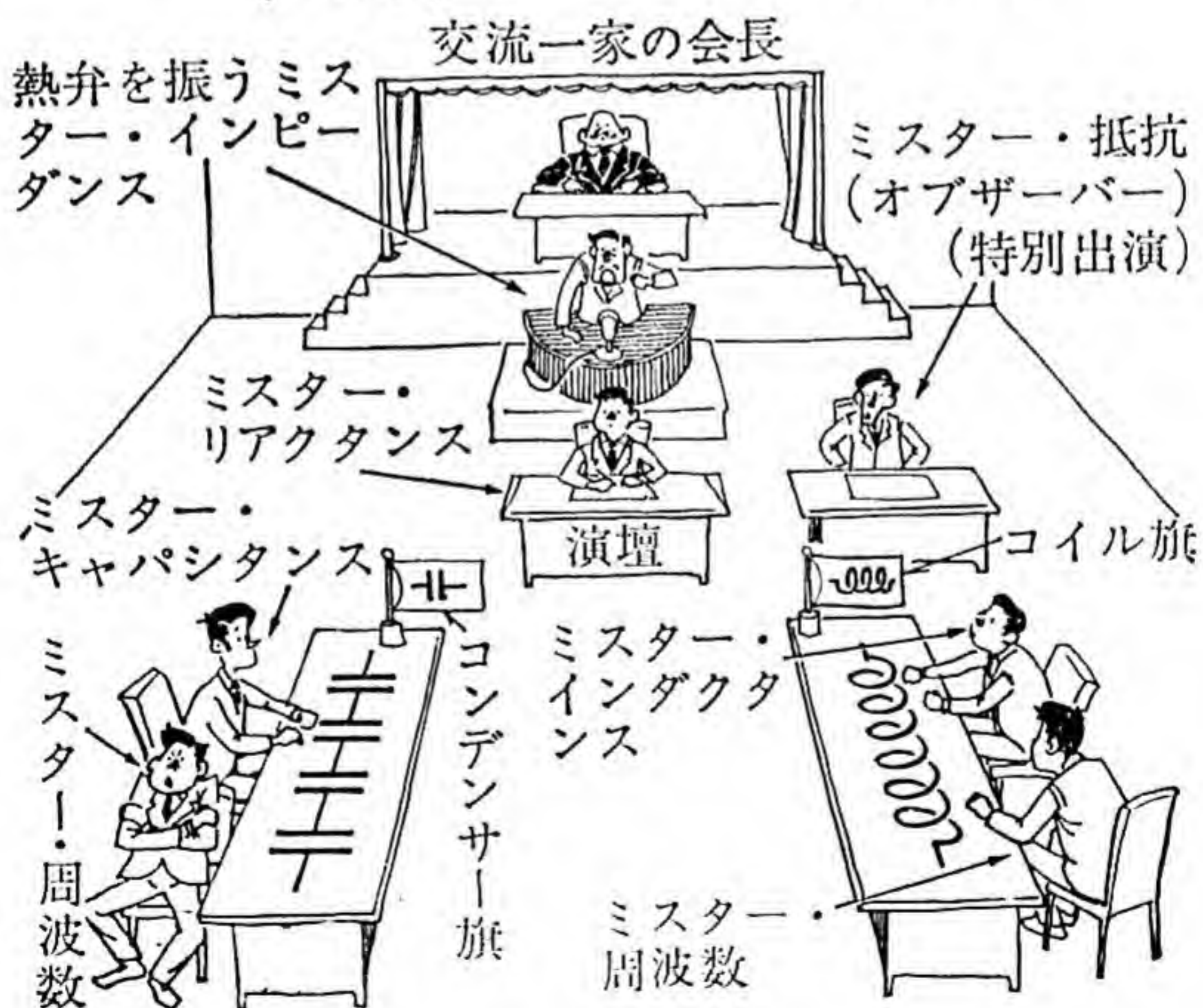
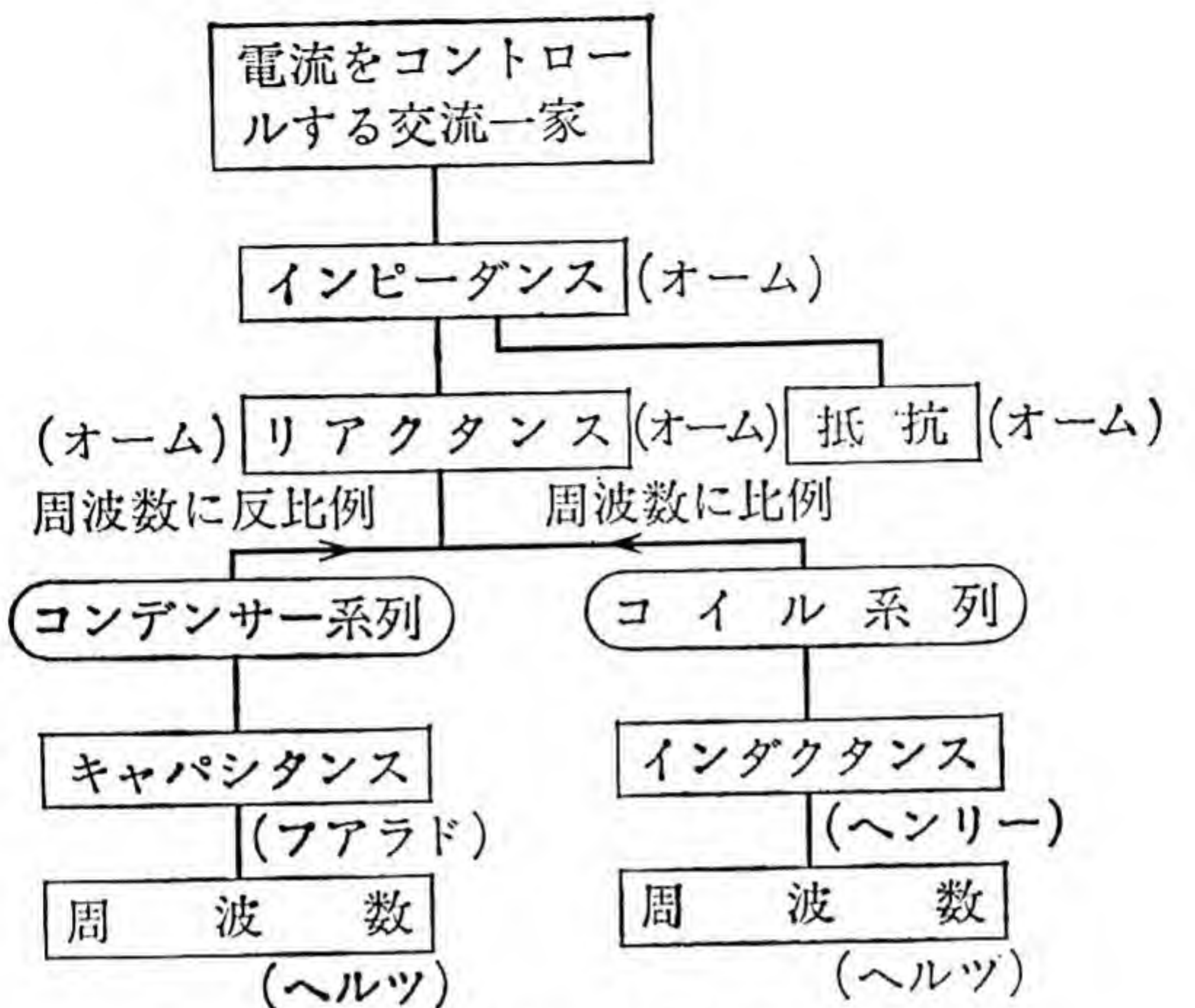
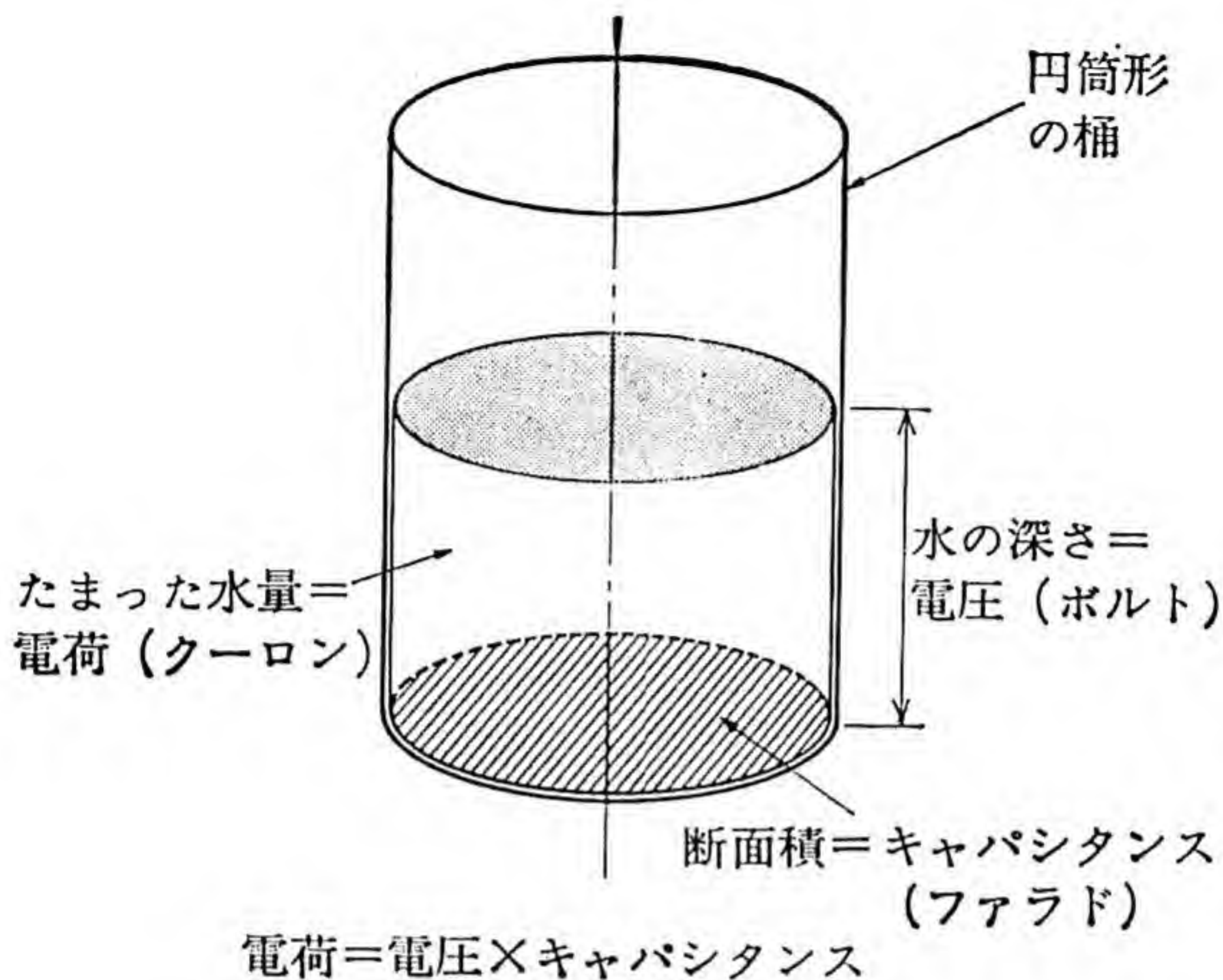
ある方向に一定速度で走る列車の中で、じっと立っている場合は全く問題はない。しかし、ピストンのように右へ行ったり左へ行ったりする場合は話がかなり複雑になる。まわりに与える影響が大きいのである。つまり、まわりの人々は振りまわされてしまうわけである。

また、都合によって他の列車に影響を与える結果になりかねない。

インピーダンスは直流で言えば単なる抵抗に相当するもので、電流を流すまいとしてじゃまする要素である。

「私は交流のときに出動する役割を持っています。私は二つの要素から成り立っています。一つは回路の抵抗、もう一つは交流独特のメンバーであるリアクタンスです。

なぜリアクタンスが必要になるかって？

交流は波が変動をくり返すので、コイルなら電流を妨げようとする力、コンデンサーなら電流をできるだけ通そうとする力が働きます。
そしてこれらの力はそれぞれ周波数に比例します。そこで、周波数に関係しない独特の量をきめる必要があります。
その量がコイルではインダクタンス、コンデンサーではキャパシタンス（静電容量）と言われるものです」
「今、コイルに交流を流すと、ある値の電流が流れます。しかしコイルの中の純抵抗そのものはほんのわずかで、大部分はリアクタンスです。だからこのコイルに直流を通すととんでもないことになります。つまりショートしたようになるのです。
また周波数が変わっても同様に、流れる電流が変化します。
だからけい光灯を扱う場合は周波数も大切なのです」
ここまで一気にしゃべり終わったミスター・インピーダンス、ちょっと額の汗をふきながら、彼の部下のインダクタンス君の方を向いた。
彼は自分のお株を取られたといった顔で振り向いたが、気をとりなおして言い出した。
「私がインダクタンスです。ある回路に流す電流が変化すると、回路内に、その電流がつくる磁束の変化を妨げようとする方向に起電力ができます。この場合の磁束を電流で割った値を回路の

交流グループの各要素。(カッコ内は単位)

キャパシタンス

自己インダクタンスと呼びます」

「だからインダクタンスが大きいほど、もとの電流の変化が同じでも磁束の変化が大きく、したがって逆起電力も大きくなるのです。そのため、リアクタンスが大きくなって、結局、電流が通りにくくなるのです」

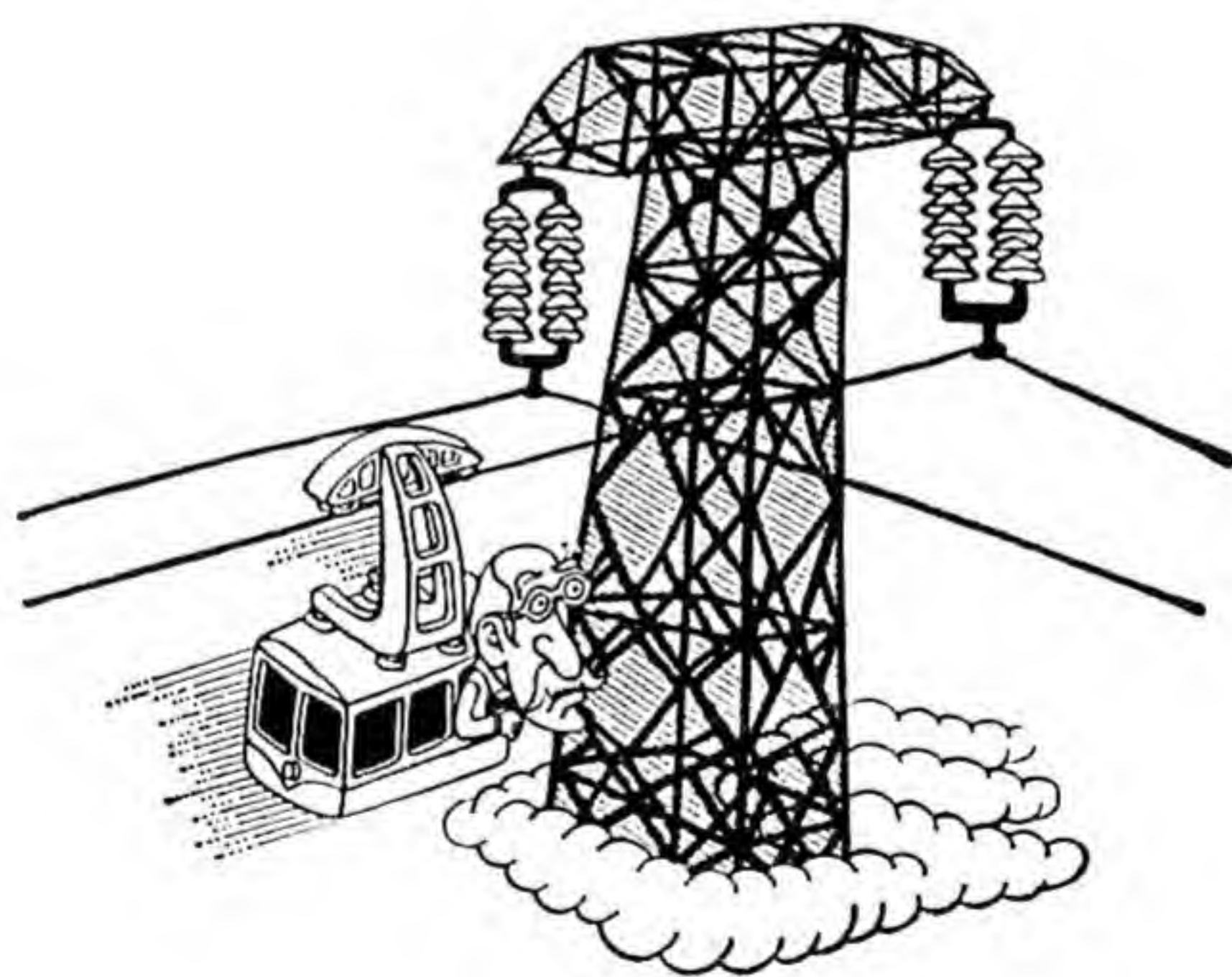
「私の仲間には相互インダクタンスもいます。彼はある回路から他の回路にどれだけ影響を与えるかのパラメーターになるものです」

次にキャパシタンス君の登場だ。

「私は交流の電流をコントロールする役割のほかに、よく電気をどのくらいためるかの目安に使われるので皆さんおなじみだと思います。今コンデンサーを円筒形の桶に例えると、私は断面積に当たります。これ

にたまる水深を電圧とすると、水深に断面積をかけた水量がたまる電気量に当たるわけです」
「ところで、私の能力は、対面する電極の面積とその間の絶縁物の性質（つまり誘電率）によりきまります」
「電気を通さないはずの絶縁物が、電気をためる媒体の役割をするとはちょっと変だとお思いでしょうね。たしかにそれももっともです」
「そう言えば、空気中や真空中の空間を電波が伝わるのとよく似ていると思いませんか」
交流グループの弁説はなかなかつきない。
彼等のほかに、まだまだ多士済々の面々が控えているのだが、これらは再び本文に戻って考えて行くことにしよう。

さて、いろいろな性格をもった電気だが、これを使うためには、必ずどこかへ運ばなければならない。懐中電灯の中の電池とランプの間の短い電線、家庭の中の配線、電力会社の送電線など……。
そして、われわれは電気の輸送のために、常に大きな注意を払っている。効率よく、安全で、経済的な輸送方法をこれから考えて見よう。
油断するとあぶない電気をうまく手綱をしめてかかるこつの話である。

4　電気の通り路

はっきりしない導体と絶縁物

電流を有効に流すためには、できるだけ抵抗の小さい材料が必要である。一般に金属は抵抗が小さい上、細くうすく加工できるので、電流を通す目的の材料、「導体」として利用できる。

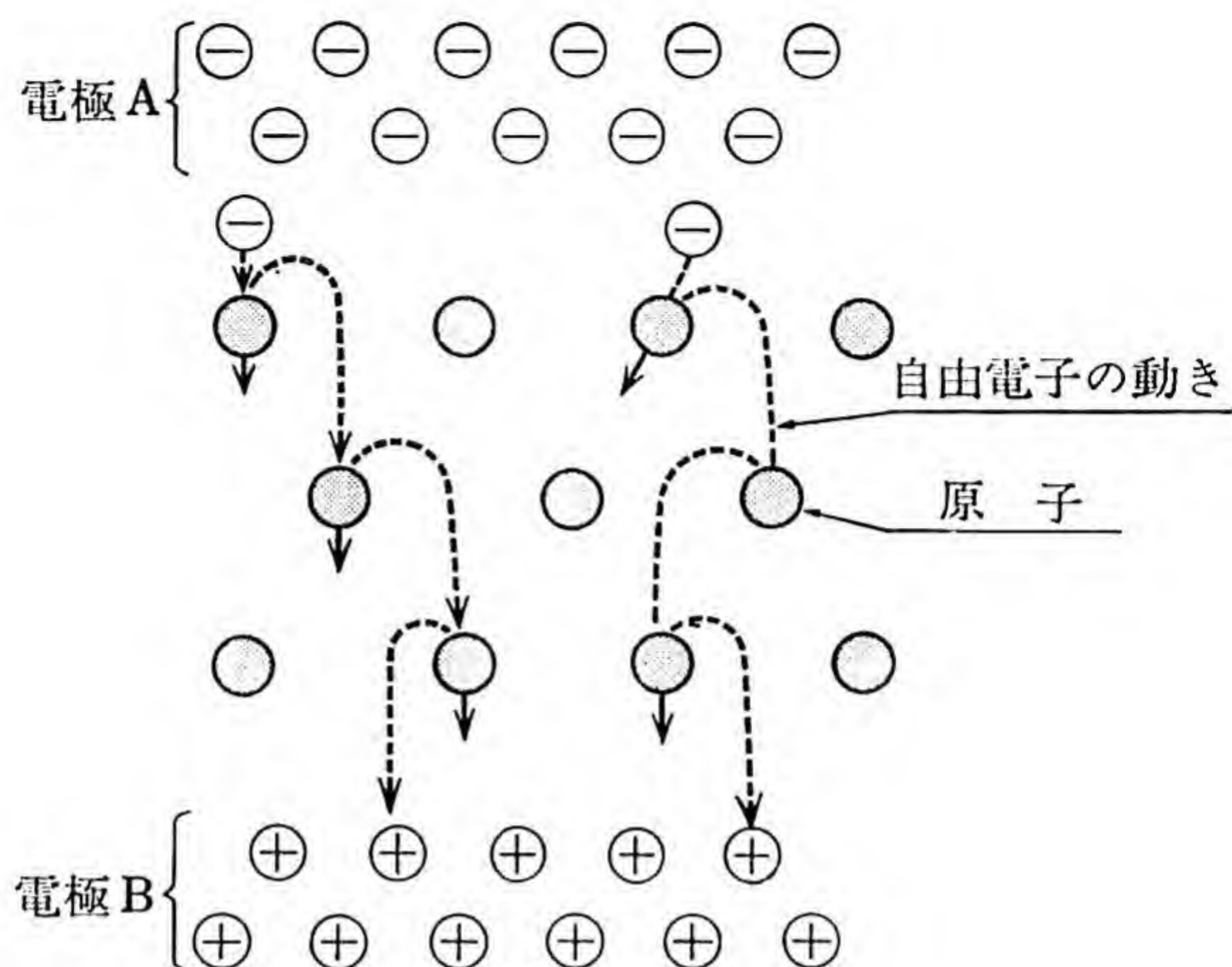
一方、電流を必要な導体だけに通すためには、周囲を抵抗の高い材料で囲む必要があり、それに絶縁物が用いられる。

空気は地球上で最も多量にあり、経済的で性能のよい絶縁物である。もしも空気が導体だったらわれわれはとても地球上で生活できないだろう。あたり一帯の電線の電気によって、たちまち感電してしまうだろうから。

いや、その前に、電気を送ること自体経済的に不可能になるだろう。

ところで導体と絶縁物との違いは、われわれが普通考えているほどには、はっきりしていない場合が多い。

先述のように金属の抵抗は、温度が上がると大きくなるし、カーボンなどの非金属は反対に小さくなる。たとえば白熱電球の中のフィラメントは、点灯後はかなり高抵抗になる。

一方、絶縁物の抵抗（絶縁抵抗）はもっと複雑な現象を示す。まず絶縁物は加わる電界によって、電気をためる役割の誘電体を兼ねる。

抵抗中の電子の運動

優秀な絶縁物である空気といえども、電界の強さによって、コロナや火花やアーク放電を起こす。アーク放電になっては、本来の導体よりもっと派手な働きをすることになる。水は絶縁物というより、むしろ導体に近い。

導体とはなにか

導体の中には、電気を荷なって自由に動きまわる自由電子があり、電界を加えると容易に移動して導電作用を受け持つことができる。しかし絶縁物の場合は、このような自由電子が欠けていると考えられる。

自由電子の移動速度はずいぶんおそく、たとえば直径一ミリメートルの銅線に一アンペアの電流が流れる場合の、自由電子の

平均速度は毎秒〇・一ミリメートル程度である。

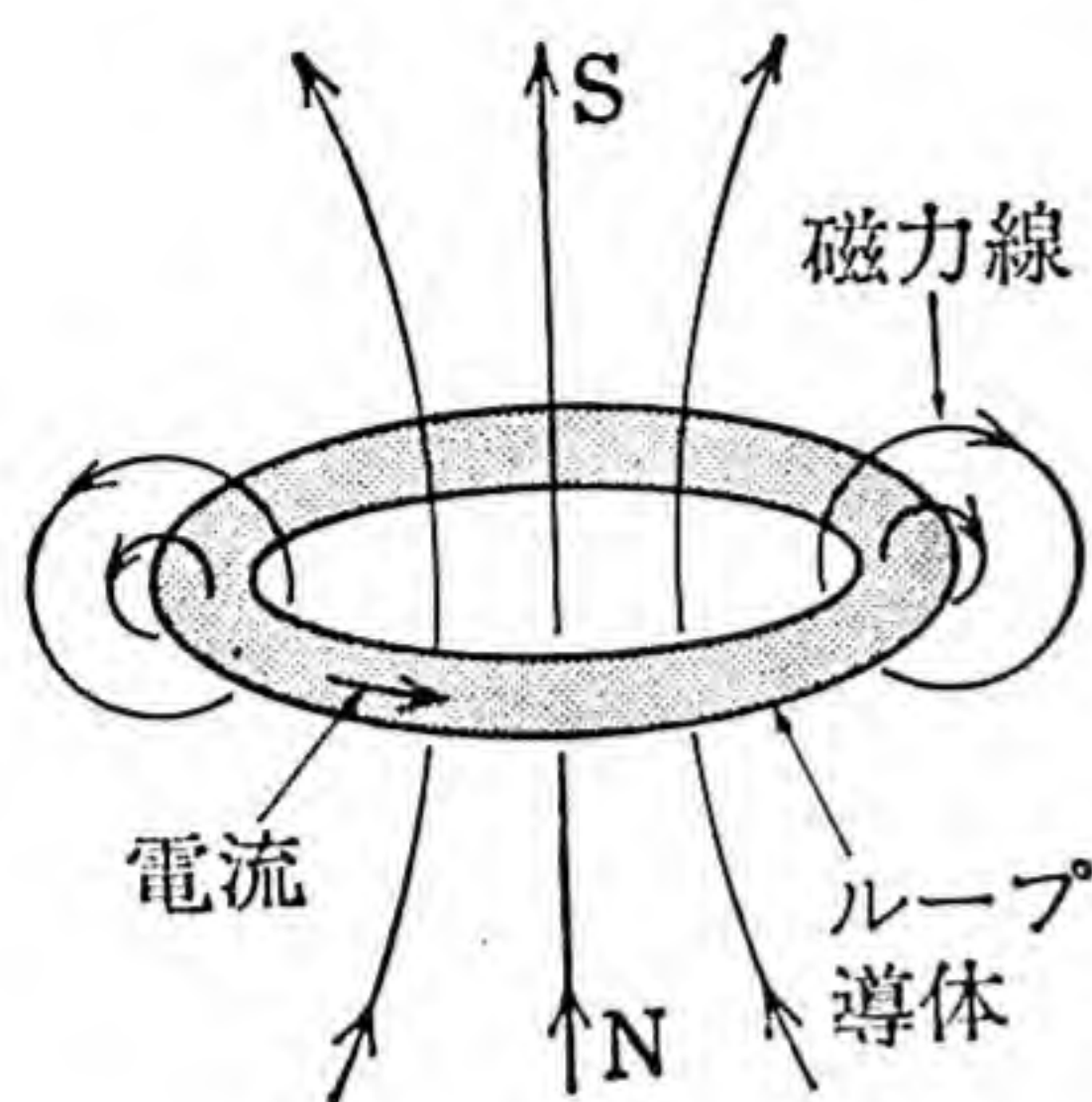
自由電子が運動するとき、何の障害もなければ自由電子は一様に加速され、従って電流は限りなく増大しなければならないはずであるが、実際はそうはならない。それは、自由電子が原子のすきまをかいくぐって運動するため、絶えずこれと衝突し、エネルギーを失うと考えられるからである。

ところがこのような金属導体の抵抗が、ごく低温になると、急になくなってしまう不思議な現象がある。いわゆる「超伝導」である。

「シャルルの法則」をご存知であろう。気体の体積はマイナス二七三度C（くわしくはマイナス二七三・一五度C）になると〝零〟になってしまうというものである。この温度が絶対温度の零度Kである。

今、水銀の温度を下げて四・二度K（この場合の臨界温度）になると突然、急に、水銀が「完全導体」になる。この異常な現象が「超伝導」である。ではなぜこんなことが起こるのだろう。

抵抗とは、一口に言えば、自由電子が原子のすきまを通るときに原子や分子がじゃまをすることだというのが古典的ながら分りやすい説明である。

導体の中にはたくさんの自由電子があり、勝手気ままに動きまわっている。その速度はかなり高速度で、その「平均二乗根」は、絶対温度の平方根に比例する。常温である三〇〇度K（二七

度C）では、自由電子の動き回る速度は毎秒一二〇キロメートルぐらいで大変な高速度である。
そのため、導体に電圧を加えて（導体内部に電界を作って）、自由電子を強制的に一方向に流そうとすると（電流を流そうとすると）、原子との衝突によって、電気エネルギーが熱エネルギーに変わる。つまりジュール熱が発生する。
そこで導体の温度を零度K近くまで下げると、自由電子の運動が非常に静かになるので、強制的に一つの方向に流しても、原子との衝突がほとんど起こらず、抵抗はなくなる。
また超伝導では、永久電流が流れる。

超電導の原理

磁界中で、リング状の導体を臨界温度以下に冷却した後に、磁界を取り除いて見ると、導体には電流が流れ、同時にその周囲に磁界ができる。
つまり、〝にわとりと卵の因果関係〟が誕生するわけである。
そして、この関係のきっかけを一度作ってやれば、一度流れた電流は理論的には永久に流れ続けることになる。実験的にも、二年半ぐらいの経過では、電流はほとんど変化しないそうである。
こう書くと読者の方々にはすでにお気付きのことがある

はずだ。

「超伝導の状態では、細い電線にいくら大きな電流を流しても熱は出ない」

正にそのとおりで、これを利用して電磁石や変圧器のコイルが作られ、また送電線のケーブルにまで使われそうな勢いである。

気中放電

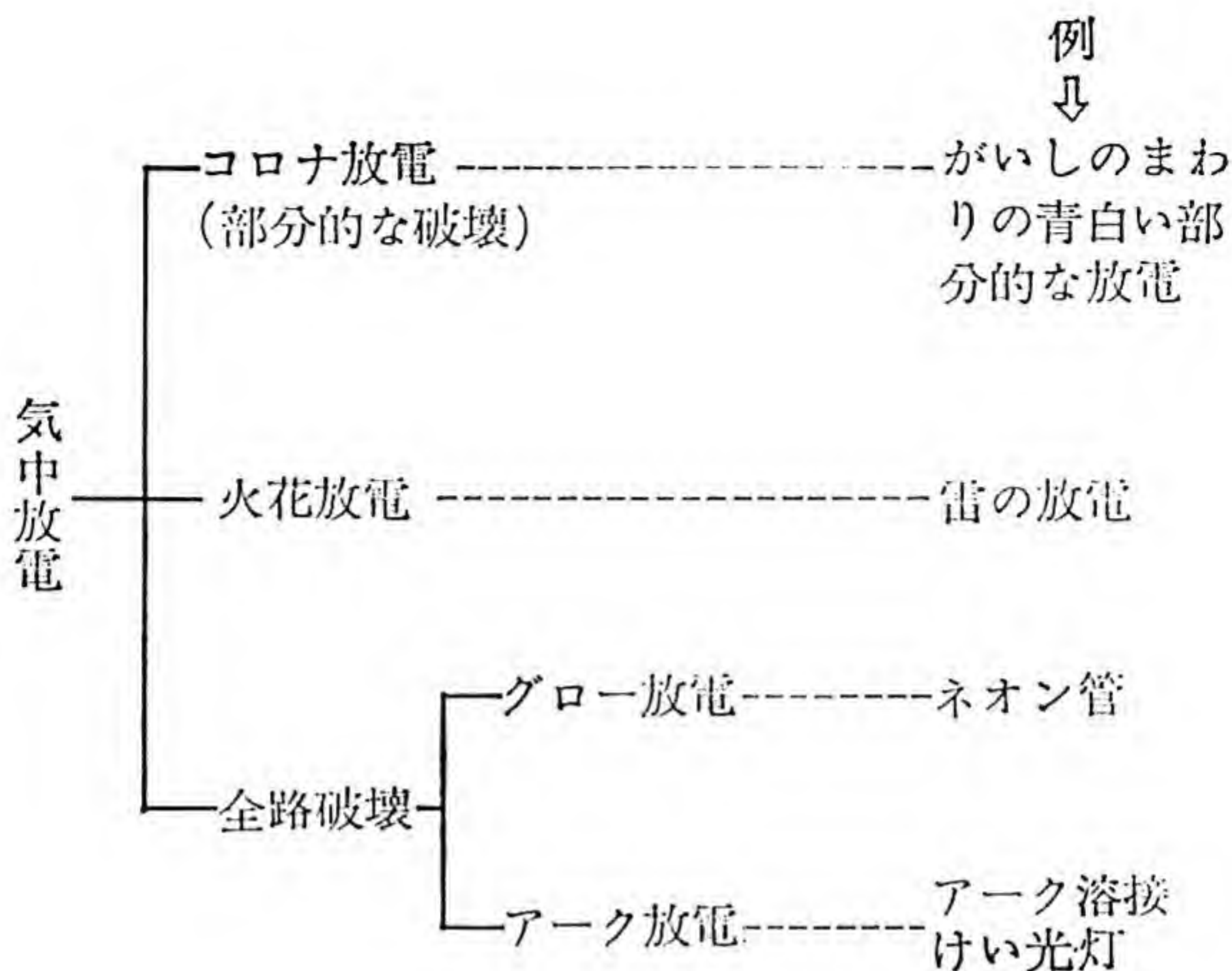
電流は導体の中を通っている間は、まず無難でトラブルはない。せいぜい熱を出す程度である。

ところが、一たん気体の中に飛び出すと、いろいろと風変わりな現象を起こす。電気エネルギーの一部は音や光や莫大な熱になったりするからである。

気体はもともと絶縁物であるが、これに工夫をこらすと、とんでもない性格を備えた導体になることもある。

気中放電は、空気などの気体の絶縁が破れることで、その程度によって、コロナ（部分破壊）、火花放電、全路破壊（グロー放電およびアーク放電）にわかれる。

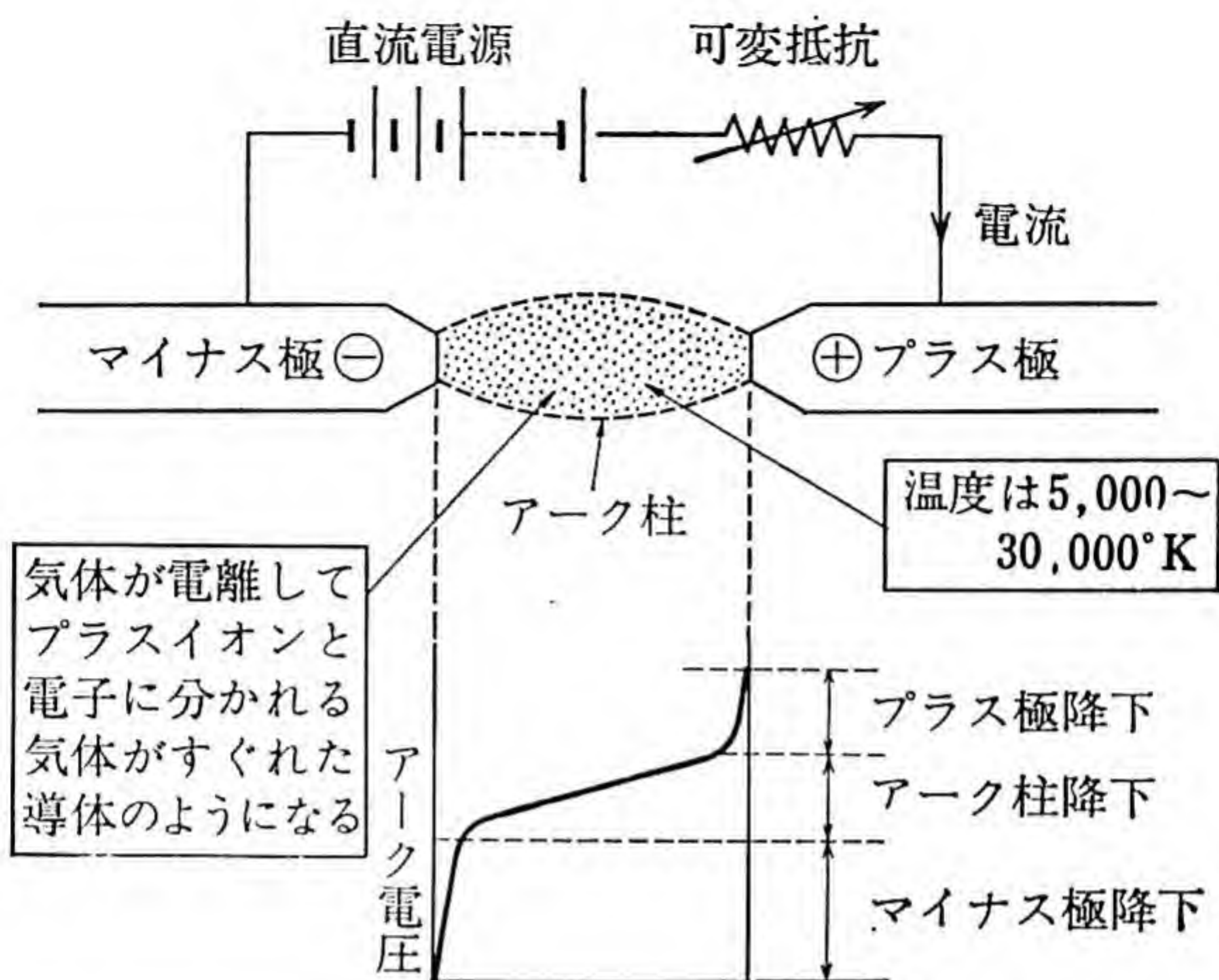
雨の日に送電線の電線が低い音を発しているのに気付かれた方があるだろう。

電線の周囲は絶縁物の空気でおおわれているが、電界があまりシャープになると、空気の絶縁

気中放電の分類

が部分的に破れる。これが「コロナ」である。さらに空気の絶縁破壊が進むと、火花が飛ぶ。

火花が飛んで、そのまま絶縁が回復するときもあるし、全面的な放電に進むこともある。雷の放電は代表的な「火花放電」である。

夜空に輝くネオン・サインはグロー放電の利用の代表例である。

ネオン管は細長いガラス管の両端に、円筒や円すいの電極を設け、水銀柱圧力数ミリメートルの気圧の不活性ガス（ネオン、アルゴン、ヘリウムなど）や水銀蒸気を封入した放電灯で、陽光柱部分の発光を利用する。電流は数ミリアンペア以下であるが、同じ電流でも管が細いほど輝度を増す。

アーク放電

ネオン管の放電開始電圧は、点灯中の放電電圧の一・五〜三倍もあるので、無電流のときは端子電圧が高く、電流が流れ出すと電圧が下がる特性を持ったネオン管用変圧器が必要である。

グロー放電は、非常に低い気圧の下でおこるから「真空放電」とも言われる。電話の避雷器や、けい光灯のスターターとしてのグロー・ランプもその応用である。グロー放電を用いた光源の大きな特色として、熱的慣性が小さいことがあげられる。だからストロボに使われる。

アーク放電は、放電の中で最終形態と考えられるものである。グロー放電からアーク放電へ移るときもあるし、火花放電から直接、アーク放電に移るときもある。

大きな電流が流れているとき、スイッチを切ると、しばらくアーク放電が続く。水銀灯や電気溶接はアーク放電の利用である。

アーク放電中は陰極面が局部的に異常に温度が上り、著しく高い密度で電子が放射される。アーク放電の電圧降下はグロー放電の一〇分の一以下である（数十ボルト）。だから、送電線がアーク地絡（アークで地面とつながる）を起こしたときは大変危険である。水銀灯などに安定器が必要なのはその理由による。

アーク放電は、気体が絶縁物である概念から考えると非常に不思議な現象とも言える。放電管やけい光灯の発光部のように、プラスの電荷を持っているイオン（プラスイオン）と電子とがほぼ同じ密度で共存している粒子集団を、「プラズマ」と呼ぶ。

このプラズマ中では、電離作用（後述）とその反対の発光作用とが絶えずくり返されている。発光作用は、電離によってできたプラスイオンと電子とが再結合して、元の原子や分子に復帰するときにおこる。

プラズマと超伝導――この二つの両極端の現象はまことに面白い対象だと思う。超高温と超低温の組み合わせだからである。

コロナをマーク

日本で最初に二七五キロボルトの送電線が完成したのは昭和二十八年である。それまでの当時の最高電圧は一五四キロボルトであったが、これでは本州中央部の水力電源地帯から経済的に多量の電力を関西の需要地帯に送電できないので、新北陸幹線が建設された。

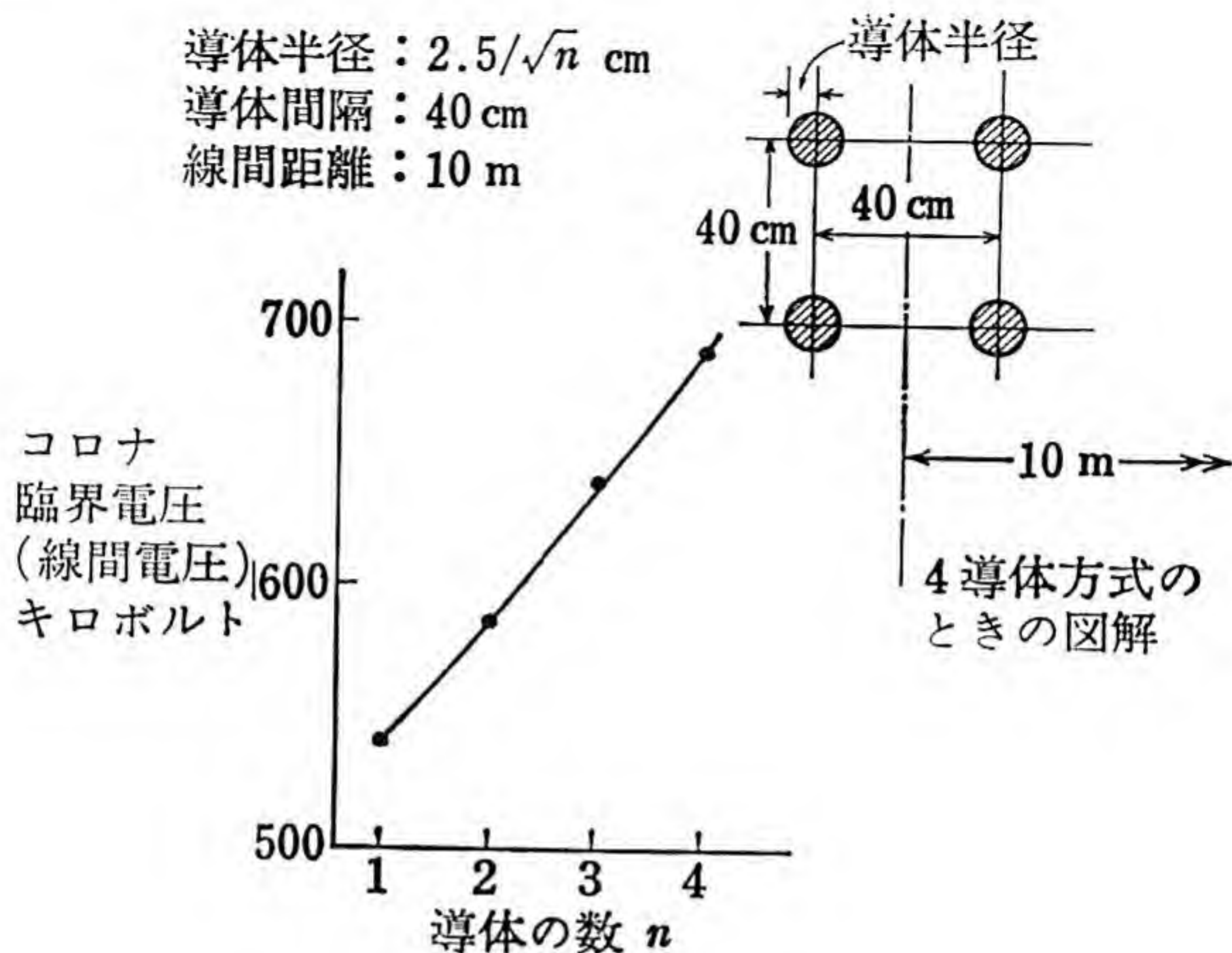
ところが運転を始めてから各地でコロナ放電によるラジオの受信障害の苦情が出はじめた。最近は一相あたり二本とか四本の電線を使っているのでコロナ障害は解消しているが、当時は三相三線式の一本の線には、一本の導体が使われたので、電線の周囲の電界が急すぎてコロナが出やすかったのである。

その後、作った姫路方面の二七五キロボルト送電線では、付近の受信状態をよくするため、NHKの放送を一たんまとめて受信し、それをもう一度この送電線から放送し直している。つまり、送電線がアンテナとして使われているのである。

ところで、送電線の本来の周波数は六〇ヘルツや五〇ヘルツ、これに対して放送周波数は数百キロヘルツという高周波である。これがうまく使いわけできるところがおもしろい。

現実に、ほとんどの送電線には、電力会社の専用電話のために搬送電話の高周波をのせている。

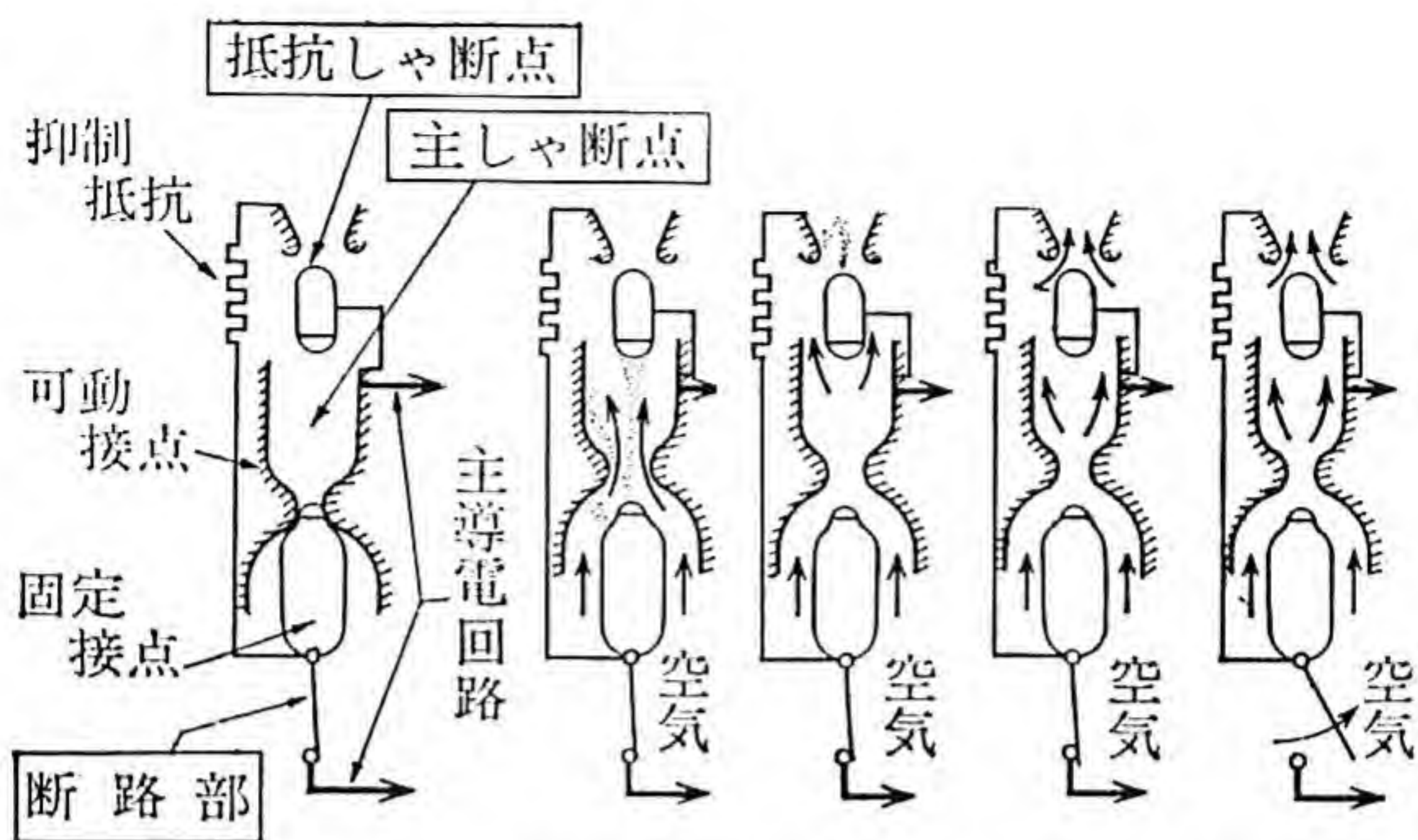
電電公社の電話線も、同様に多くの種類の周波数をのせて多重使用している。

このようにして、一本の線をできるだけ経済的に使用するわけである。

多導体送電線のコロナ臨界電圧

そのためには、ある周波数だけ通したりさえぎったりする「フィルター回路」を用いている。これは「共振」の応用である(次章参照)。

このようにコロナ放電は部分的な空気の絶縁破壊であるが、その代わりなかなか絶滅できない。そして絶えず雑音電波を出す。

つまり慢性病のように始末に負えないのである。

電線のまわりはたしかに優秀な絶縁物である空気で囲まれている。しかし、空気はかなり気まぐれで、一センチメートル当たりの耐え得る電圧には限度がある。それをこえると部分的に、とがった所から絶縁が破れ、低い音と弱い光を出してコロナ放電

空気しゃ断器のしゃ断機構

が始まるのである。

コロナパルスによる雑音電波は持続性があるからテレビやラジオの大敵である。

コロナは雨の日に出やすい。夜になるとがいいしの付け根や金具のとがった所から青白い光が見えることが多い。

しかし、それにしても空気はまことに経済的な絶縁物である。そのため最近空気しゃ断器がたくさん使われている。電流を切るとき、接点に圧縮空気を吹きつけて、アークを強制的に消すわけだ。

さらに、しゃ断性能をよくするため、六ふっ化硫黄(SF_6)ガスがクローズ・アップされている。空気よりも絶縁性がすぐれ、安定しているので、しゃ断器に使われる。

ついでに送電線と建物との離隔距離につ

いて一言付け加えておこう。

宅地ブームで各地で土地の造成が盛んである。中には山腹の既設の送電線鉄塔のすぐ側までブルドーザーが迫っている光景もある。

土地を買ったり、家を建てるときには、送電線との関係をよく確かめておくことだ。

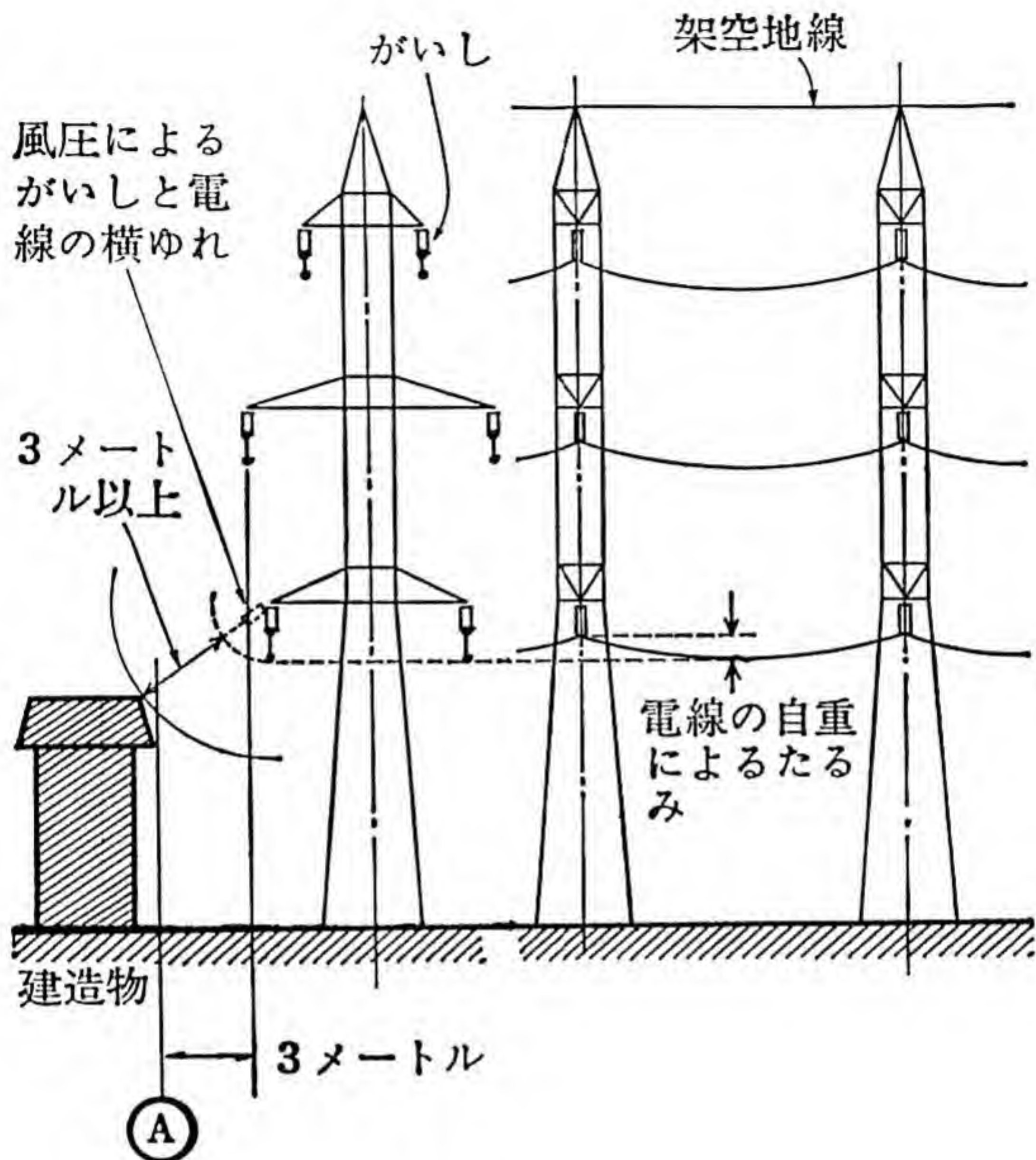
折角大金を支払ったあげく、家が建てられなかったり、その土地を転売しようにも安く値切られることがないように。

次ページの図のように離隔距離は電気についての安全のために基準できめられている。

漏電防止法

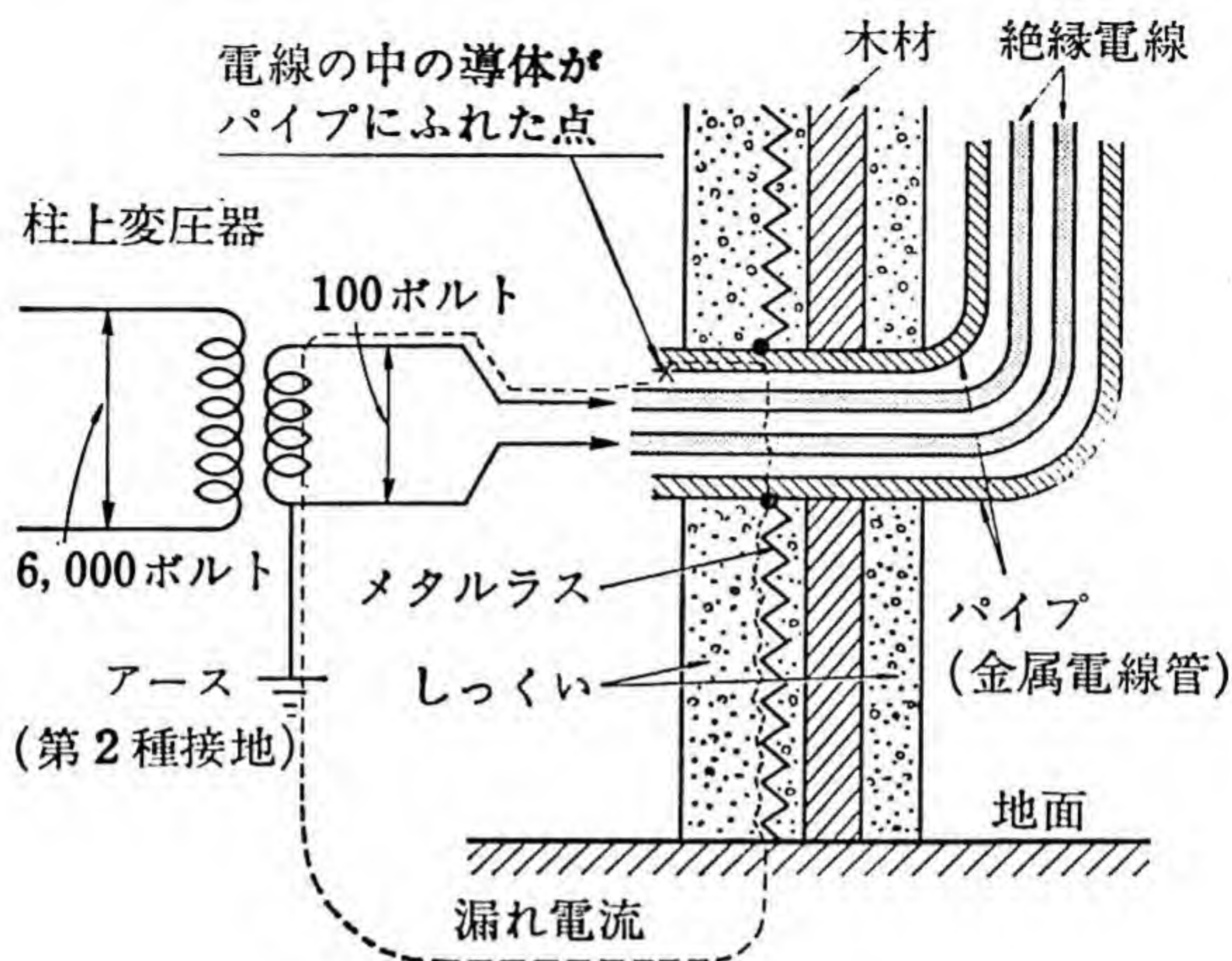
昭和三十年十月一日午前三時すぎ、新潟市の一角から火が出た。折からの二二号台風が佐渡沖を通過した直後の瞬間最大風速三一メートルの強風にあおられて、火はあっという間に、東仲通り、古町などの中心街をひとなめにした。午前九時四五分に鎮火したが、一時は人口二六万の北国の街は逃げまどう人々で地獄と化した。

被災者五五九三人、全半焼九一二戸、焼け出された世帯数一二二六、被害総額四六億円という悲さんな結末。

幸い死者はなかったが、街がもとの面影を取り戻すのに数年はかかった。

○送電線が「基準」できめられた「規定の工事」がされているときは、このように建造物をたてることができる

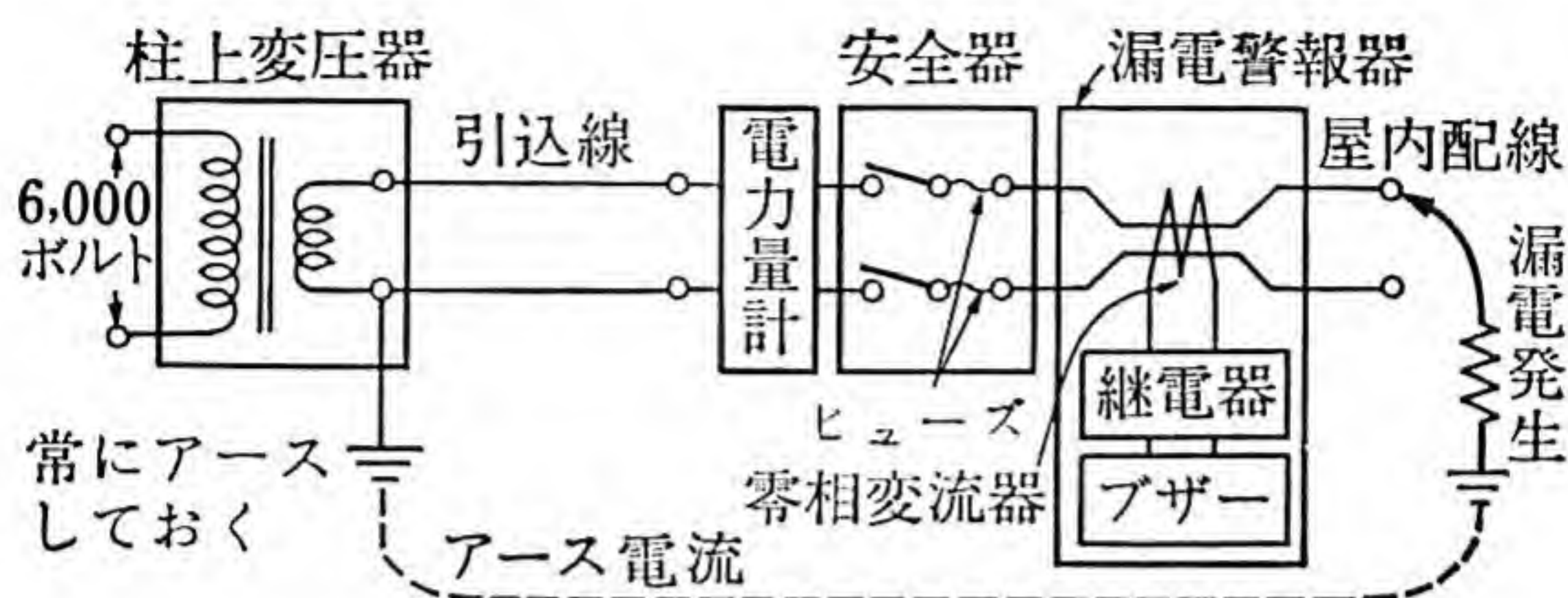
○詳細については、まず電力会社へ問い合わせること。

○図のⒶより送電線側に建造物を建てるときは、特に密接な連絡が必要である

送電線と建造物との離隔距離（電圧が7キロボルト～35キロボルトの場合）

新潟大火の事故原因

出火の原因は全くささいな所にあった。県庁第三分館の建物の外壁にとりつけた外灯用ブラケットからの漏電だ。ブラケットの工事をするときは、万一裸線がブラケットにふれても安全なように、ブラケットは必ず建物外側のモルタルの中の金網(ラス)から絶縁されなければならない。それが守られなかったのである。そのため、ブラケットに流れた電流がラスに流れ、過熱し、壁の中から炎があっという間に外へ出たのである。

〝典型的な漏電事故〟だった。それから、漏電に対する検討が行なわれた。電気工作物規程(今の電気設備の技術基準)の勉強や電気工事士制度の発足などである。

漏電とは、通ってはならない所に電流が

漏電警報器（……部分流れた電流。２本の電線の電流のアンバランスを零相変流器で検出。感度は30ミリアンペアから１アンペアまで）

流れることである。

漏電事故の大部分の原因は絶縁物の不良である。漏電を発見するためには、便利な機械「メガー」がある。携帯用で、手回しの直流発電機を内蔵し、その発生電圧を対象部分に加え、「オームの法則」できまるわずかな電流をよみとるしかけである。

漏電防止のためには基準がきめられており、家庭の電気設備では少なくとも二年に一回は電流がもれていないかどうか測らなければならない。

そして絶縁抵抗の値は、一〇〇ボルト回路では〇・一メグオーム以上、二〇〇ボルト回路では〇・二メグオーム以上なければならない。

漏電の有無を毎月の電気使用量から判断することもできる。そしてもしも、別に新しく電気器具をとりつけたわけでもないのに、急に使用量が上がったら要注意である。さっそく、電力会社に連絡した方がよい。

ただし、これは消極的な方法で、こんなにはっきりしない例の方が多いこともお忘れなく。

何よりもまず、漏電警報器が信頼できるだろう。

漏電があるとブザーが鳴ったりパチンとスイッチの切れる漏電警報器は、漏電電流がたとえば二〇〇ミリアンペア以上になるか、または大地との電圧が二四ボルト以上になると働く。

また何も電気を使っていないのに、電力量計の円板が回っていたら、どこか漏電していることになる。

ただし、ベル・トランスをつないであれば、ベルを使わなくても回る。

水と漏電

サイレンが鳴る。

火事である。消防車がかけつけてホースをのばす。二階から盛んに煙が吹き出している。消防士は水をかけようとしたが、一瞬たじろいだ。二階の窓のすぐ外側を六六〇〇ボルトの高圧配電線が通っている。

「水をかけてよいか、わるいか」

彼はあせった。

無理もない。水は金属ほどではないが、つながると、ある程度導体となる。だから充電中の電

線に注水するときは、できるだけ純度の高い（抵抗の大きい）水を、適当にはなれたノズルからかけることだ。

変電所などで、ときどき、がいしについた塩分やごみを水で洗い落とす作業がある。大体七〇キロボルトぐらいまででは、消防士が使うようなジェット・ノズルを用いてもできる。電力会社の規則では、一般に水の比抵抗（比抵抗とは一センチメートル角の立方体を両端から測った抵抗値）が五〇〇〇オーム・センチメートル以上だとＯＫとしているようだ。もちろんノズルは「アース」しておかねばならない。

もっと安全にするためには水を細かい粒にしてばらばらにすればよい。これが噴霧放出で、消火によく使われる。冷却効果と窒息効果があるから、消えにくい油火災や電気火災に有効である。

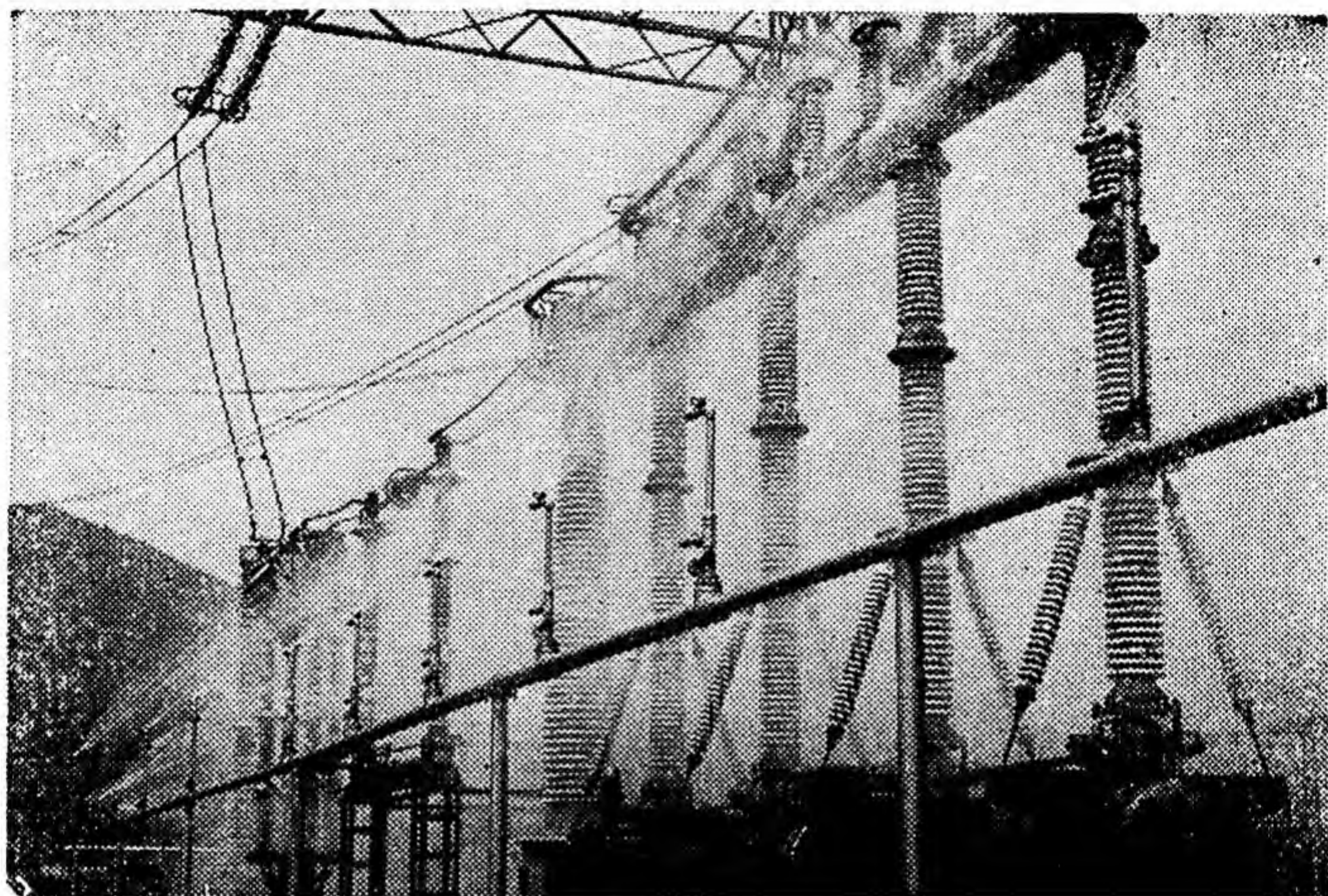
水の話をしたので、ついでに雪にふれよう。

雪国で谷間を走る送電線のがいしの上に、雪がすっぽりと綿帽子を作っている。

「雪は電気を通すかどうか」

この質問はよく出る。

雪の絶縁抵抗をはかるのはなかなかむずかしいが、結晶の段階ではまず絶縁物と言えるだろう（雪はもちろん常に結晶である。しかしとけはじめると雪のかたまりの表面や内側に液体の形の水が続きはじめる）。

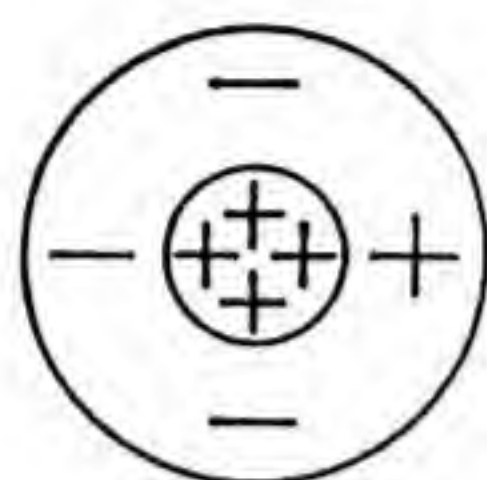
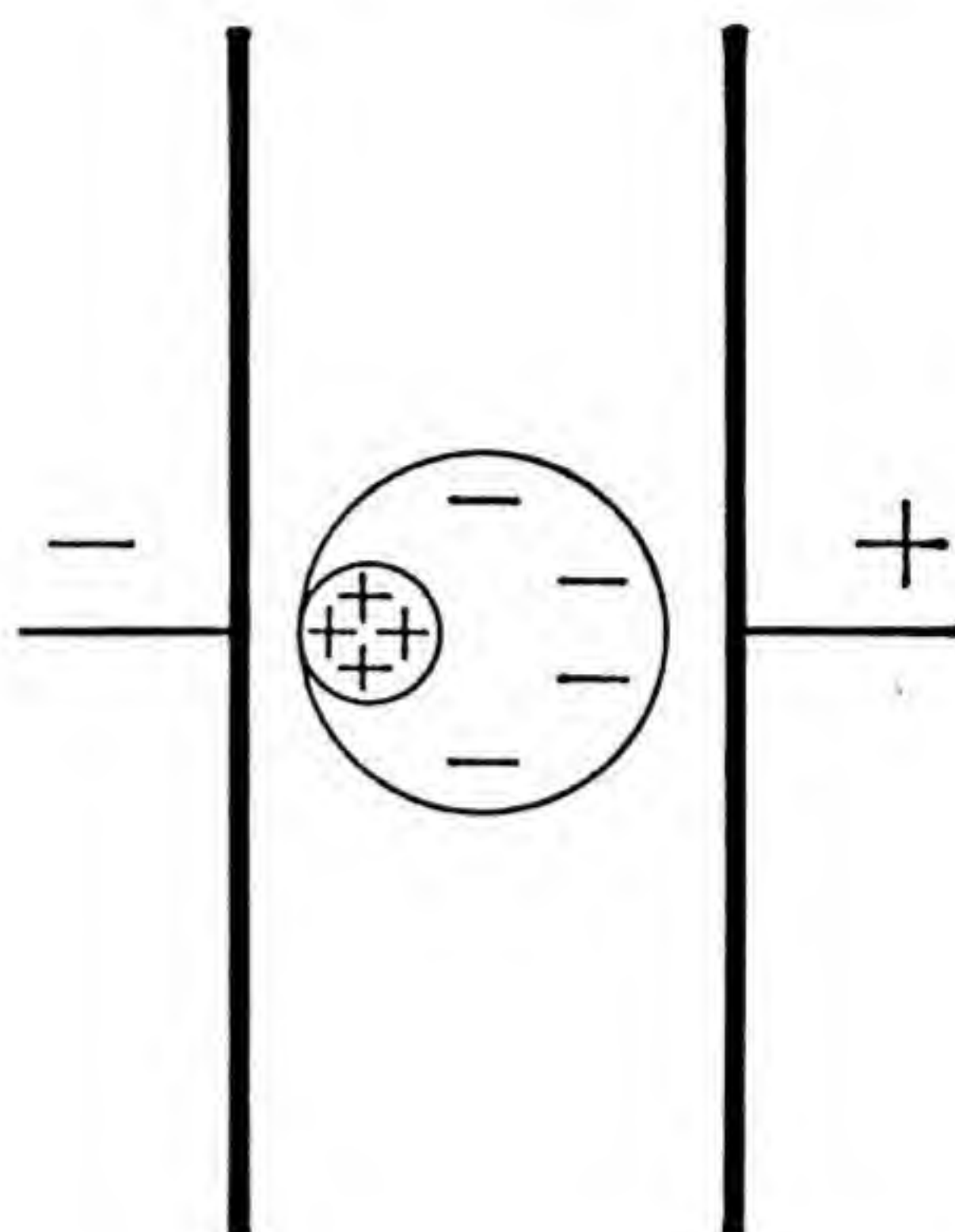
がいしの洗浄作業

水と漏電とは当然関係が深い例を二つ。

関西のある古い発電所の二階建ての木造事務所でのできごとである。

ある日、二階の床を掃除するために、誰かが水をまいた。床下には古い「四種線」が使われていた（四種線とはビニール線ではなく、ゴムや木綿による絶縁電線で、最近は新たに使われない。古い家では大部分がこれである）。

床から漏れた水は古い電線にふれ、木綿の絶縁部に吸いとられ、電線が木造物に直接ふれていたため、絶縁抵抗は急に下がった（木造物に直接四種線やビニール電線をふれるのは基準違反である）。

しばらくすると、床から煙が出はじめた。漏電だ。係員が急いでスイッチを切っ

たからよかったものの、夜だったら大火事である。
とんだ「紺屋の白袴（はかま）」だった。
次の例はある家庭の話である。
ある日のメガーによる測定の結果、絶縁抵抗は大変下がり、〇・〇二メグオームくらいしかない（一メグオームは10^6オーム）。
あちこち調べたがなかなか上がらない。コンセントやスイッチを含め、しらみつぶしのチェックの末、最後に風呂場の天井灯のソケットの付け根に水気がたまり、絶縁が下がったものとわかった。水気のある所では特にいろいろな点で電気に気を配る必要がある。
漏電はなかなか急には起こらない。急性より慢性の病気の方がなおしにくいように、漏電は根気強く監視して行くほかない。
なお、現在の電気事業法では、家庭配線の保安責任はそれぞれの家庭にあり、電力会社の財産は引込線の第一接続点までであることに注意しなければならない。しかし、電力会社も電気を送る立場から社会的責任があるから、一般住宅では、電力会社がそれぞれの供給区域ごとの保安協会に委託して絶縁抵抗を定期的に測定している。なお一〇〇〇キロワット未満の自家用電気設備では、各地域の保安協会に保守をたのむことができる。

ⓐ電界のないとき　ⓑ電界の中に入れたとき

誘電体の分極作用

絶縁物のかわった役割

これまで述べたのは、電気を通さない材料、いわゆる不導体を絶縁の目的で使うことである。

もう一つの用途は、先述のとおり不導体の「誘電体」としての使用である。

絶縁物を電界の中におくと、その中で、〝ある種の電気作用〟が行なわれる。しかもその作用は絶縁物ごとに違う。

その中で電気作用が行なわれるという意味から、絶縁物を〝誘電体〟とも名付けている。

もう少しくわしく話そう。

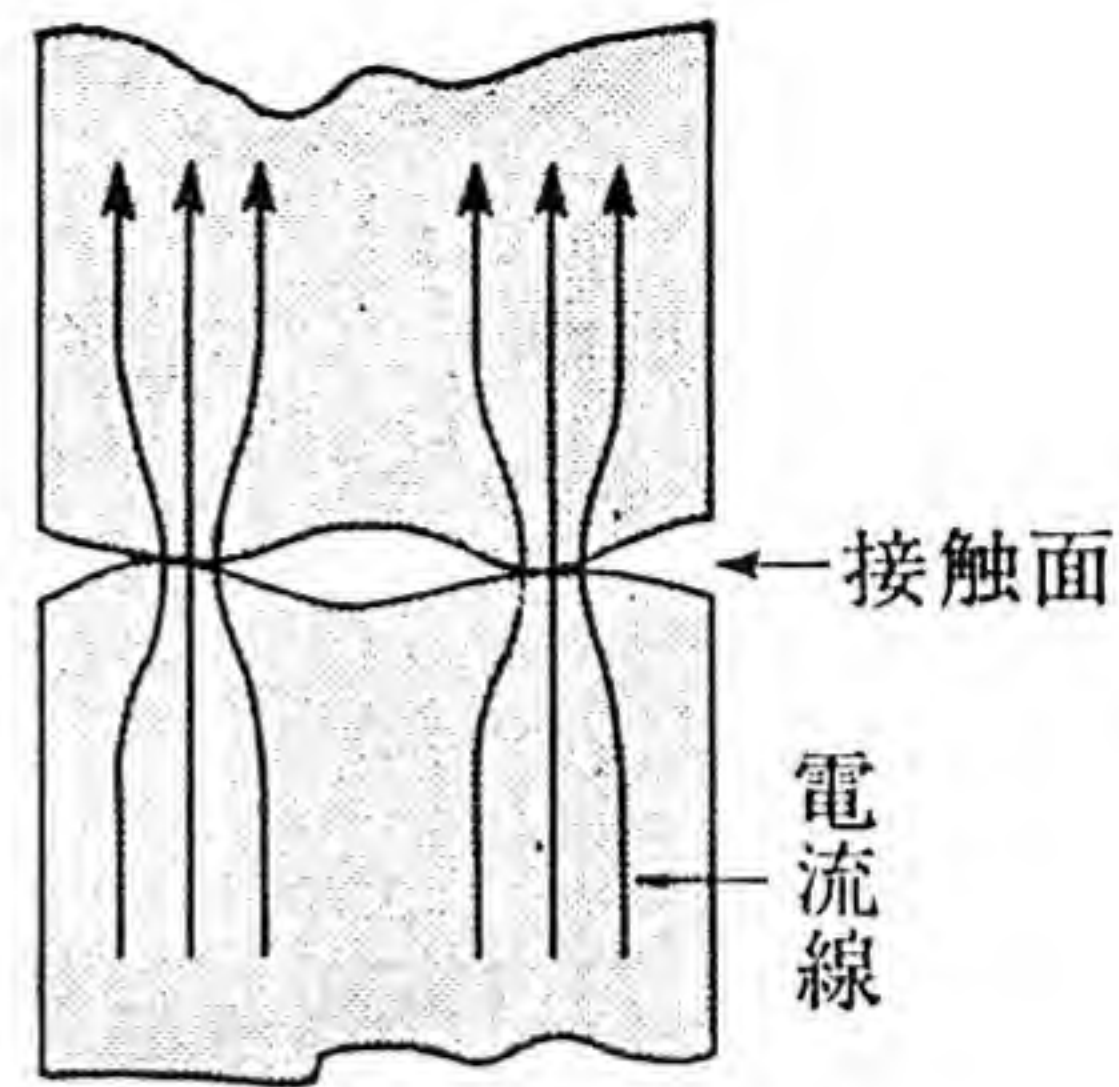
誘電体をコンデンサーの電極の間へ入れると同じ電圧でも電荷をたくわえる容量（つまり静電容量）がふえる。

平常の状態では前ページの図の(a)のように、絶縁物を構成する分子や原子の中で、電子群の持っている電荷の中心と原子核の中心とが一致している。

しかし、電界中に入れると、異極同志が引き合って、それぞれの中心がずれる。

これを「分極」という。分極すると、電極にたくわえられた電荷は見かけ上少なくなり、キャパシタンス（静電容量）は誘電体がない場合よりも増加する。

接触面

電流線

導体の集中抵抗

分極電荷は、真電荷と異なり、これを自由に外部に取り出すことはできない。

導体を接続すると

電気の流れが電子の細かさで行なわれるのに、導体を簡単につなぐだけで、なぜ電気が流れるのだろう。空気中でどんなに電線を磨いても、スイッチの刃同志が全部完全にくっついているわけでもないのに。

それは当然の疑問である。

しかし、電流が通るといっても、接触面にはいくらかの抵抗ができる。それを「接触抵抗」と

いう。

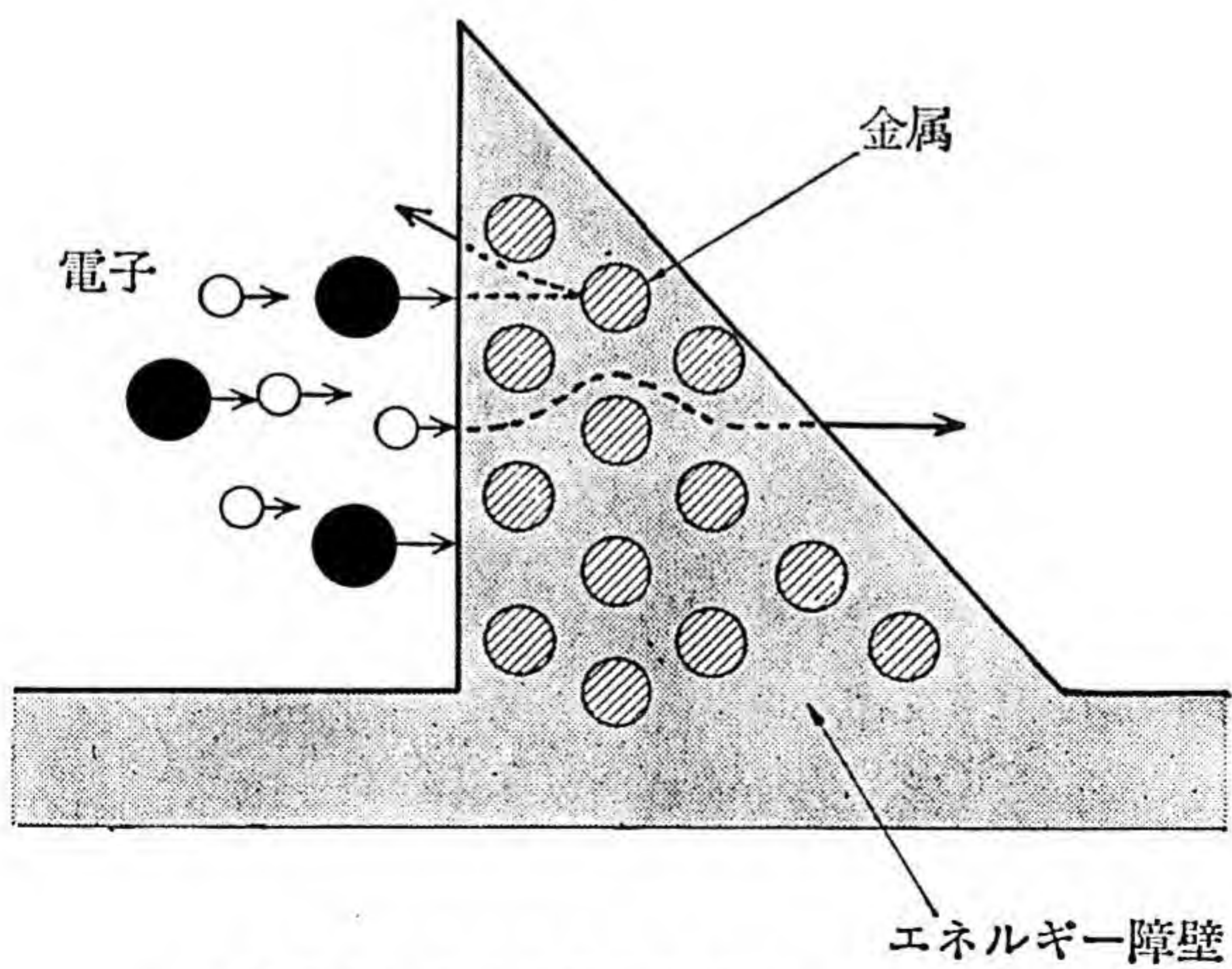
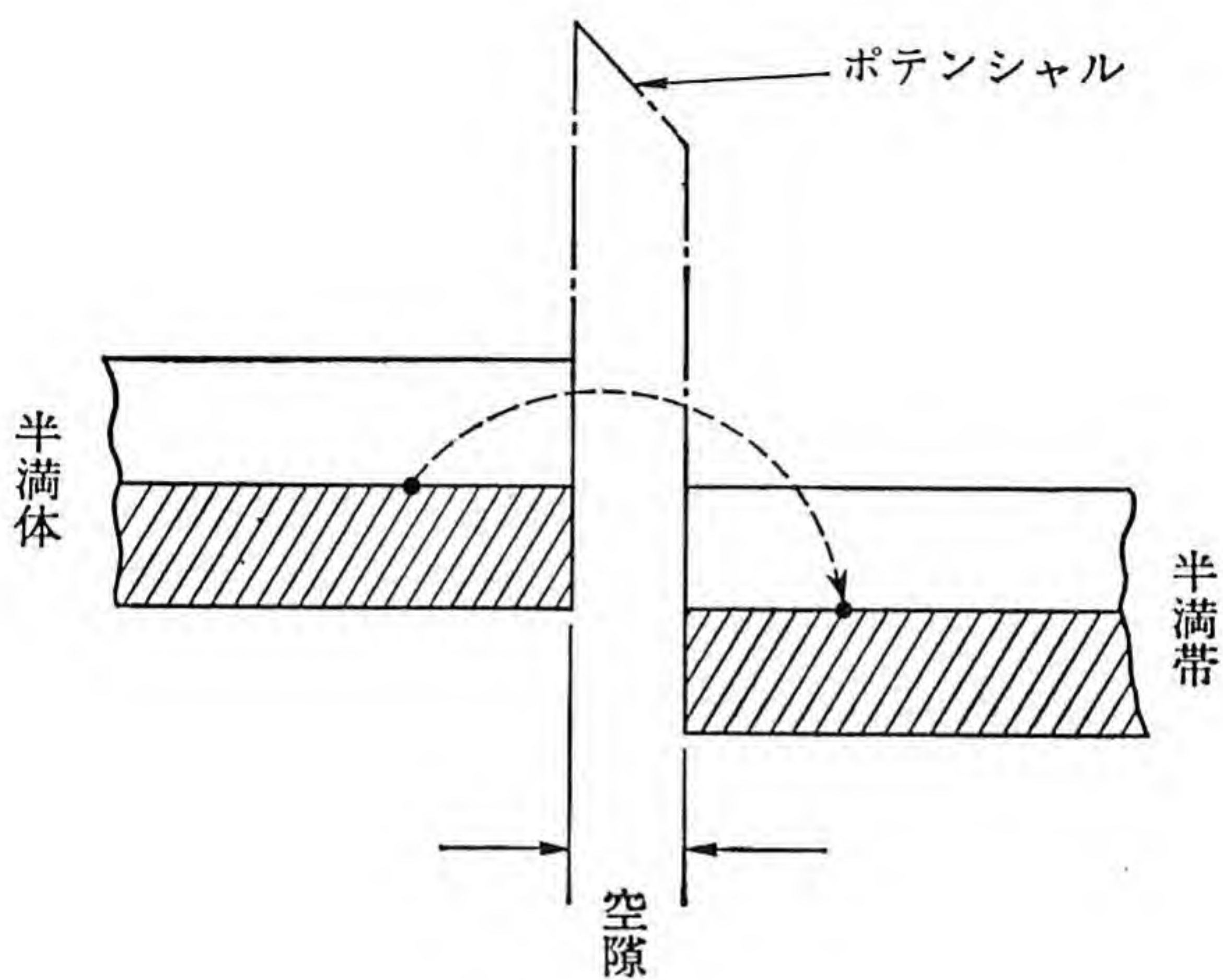
接触抵抗は、一風変わった性質を持っている。たとえば、電圧降下は電流と必ずしも比例せず、また電流の増減に対して、電圧降下が少しおくれて生ずる。

接触抵抗が現われる原因として、「集中抵抗」と「境界抵抗」との二つが考えられる。そして、実際の接触抵抗は、この二つの抵抗が直列に接続されたものになるから、これらの抵抗値を加え合わせたものとなる。

集中抵抗は、電流が小さな接触面を通過するため、その通路が絞られることによって生ずる。抵抗を小さくするためには、接触面積と接触力を大きくし、抵抗率とかたさの小さい材料を用いる。

境界抵抗は、金属をハンダづけせず単に接着した場合、接触面に何かの形で異物の膜ができるためにおこる。この膜は、金属の酸化物や硫化物のときや、油やちりのような場合もある。空気中ならば、何もないように見えても接触面は数分子の厚さの酸素や水の吸着層によっておおわれる。

皮膜が極めてうすいとき（数〜十数オングストローム）は、いわゆる「トンネル効果」によって、片側の金属中にある自由電子が、比較的容易に他方の金属に移ることができる。だから境界抵抗も無視できる程度である。

次ページの図は、金属が互いに十分に接近している場合のポテンシャルの変化を示している。

空隙のトンネル効果を直観的に示した図

この場合、中間部分のポテンシャルの山の厚味がうすいので、比較的低エネルギーの電子でも、この山を越えて他に移動できる。

これは電子が粒子である一方、波動の性質を持っていることから、「電子波の回折現象」として説明できる。

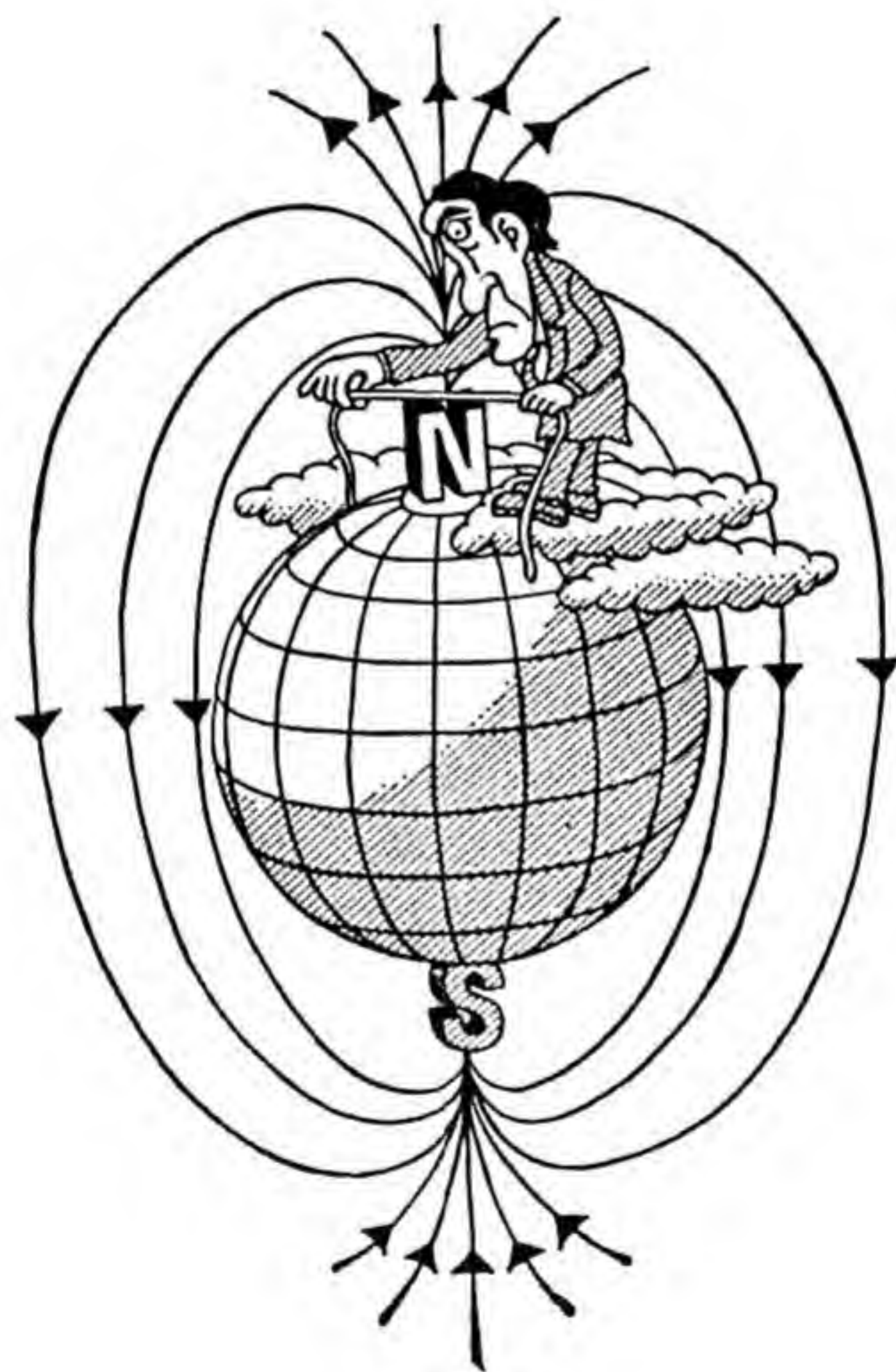
これまで、主として電気を使う上で、必要な最少限の知識をいろいろな観点から眺めて来た。しかし、話はまだ電気の本質にふれていない。

果たして電気エネルギーの正体は何か。それをもう少し突っ込んで考えるにはどんな方法があるか。

他の物理的現象との共通点や相違点はどうか。

また、もっと大切なのは、「電気が導体上や誘電体を流れる場合」と、本質的には同じであるが、見掛け上全く違った現象を示す「電波の放射」との比較である。

ここで真空は「無」であり「有」であるという禅問答めいた問題を考えることにしよう。

5　電気エネルギーの正体

エネルギーのレール

これまでは導体上を通る電流が電気エネルギーのにない手であると説明してきた。そして、エネルギーそのものは電荷を持つ自由電子によって運ばれると述べた。

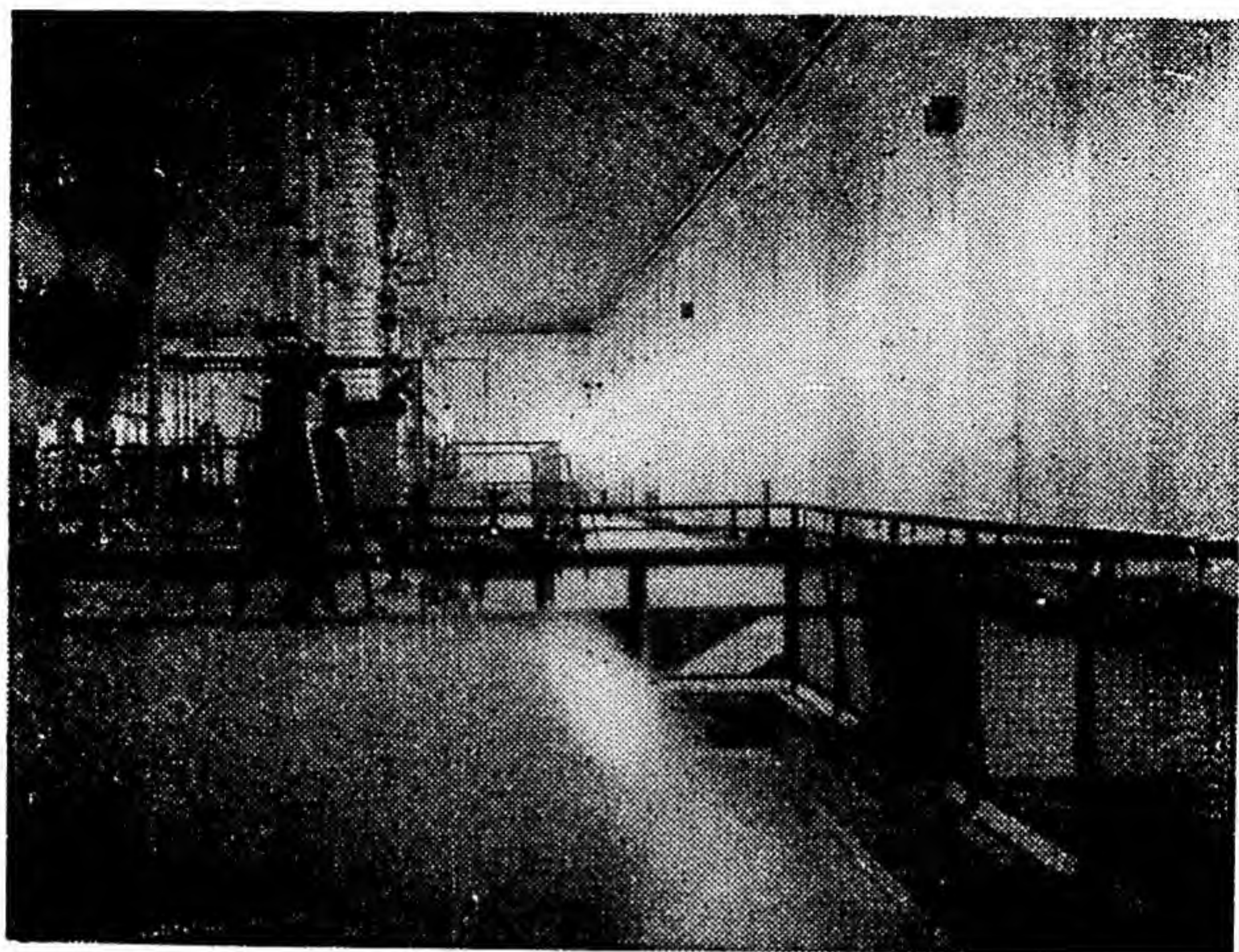
ところがごく高い周波数の交流になると、電気エネルギーの伝わり方は導体の断面積には直接関係がないようになる。しかしもちろん、電子そのものは導体断面積が大きいほどたくさん流れるはずである。

このジレンマを解決するためには、電気エネルギーそのものは、実は導体中を伝わる電荷の移動（またはリレー）ではなく、導体の周囲に作られる電波のようなものが、光速度で空間中を伝わって行くのではないかという考えが生まれる。

しかし、われわれはその話に入る前に、電界と磁界という二つの概念を頭に入れておく必要がある。

電界とは

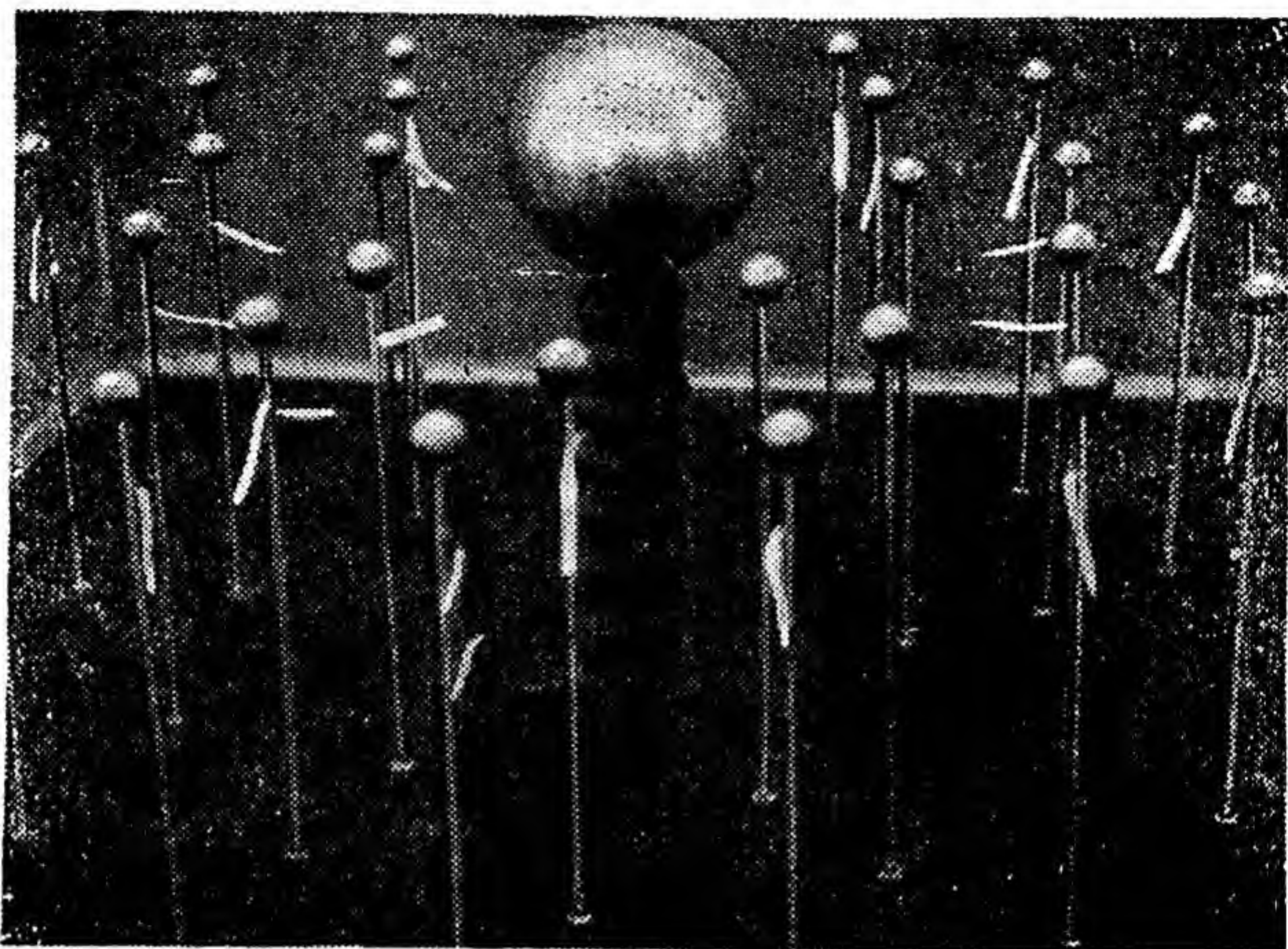
「今、電圧は二〇〇キロボルトです。これからゆっくりと三〇〇キロボルトまで上げます」

アルプスの地下に作られた発電所の大形スピーカーがこうわめいている。

黒四の地下開閉所

発電機は規定の回転速度になり、発電機の中でまわっている〝電磁石〟に徐々に直流電流を流してゆく。電磁誘導作用によって「固定子」の電圧が上がってゆく。それをまた変圧器で電圧を上げてゆく。黒部川第四発電所の建設工事現場でのことである。

この発電所は黒部川上流の断崖絶壁の山の中にあり、東京の霞ケ関ビルを半分位すっぽりと納めるぐらいの大きさである。発電した電気は、二七五キロボルトという高い電圧に上げて大阪方面に送っている。その電気の交通整理をする開閉所も地下にあり、周囲のコンクリートの壁には、たくさんのけい光灯がついている。

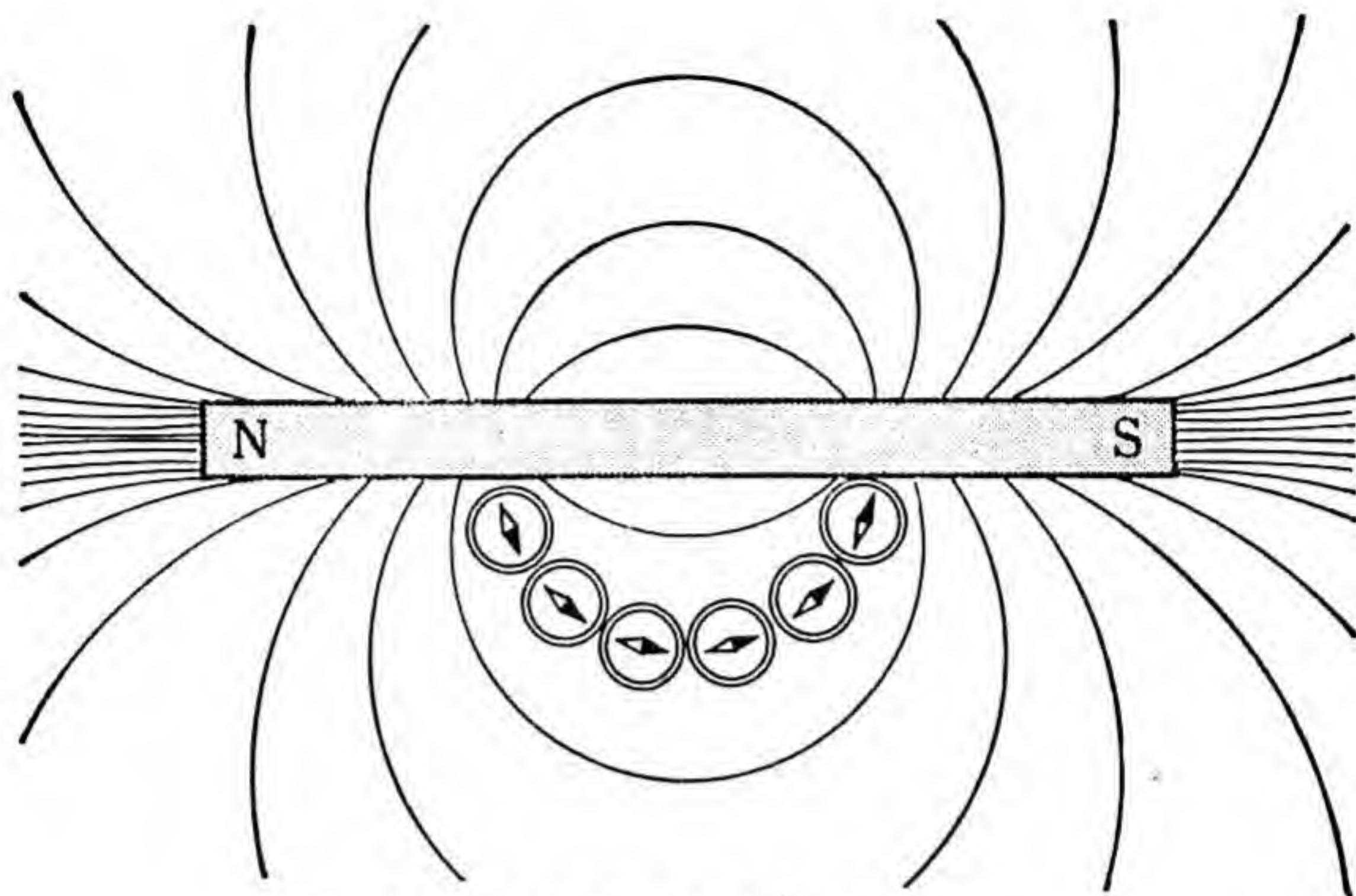
そして今、はじめて開閉所に電圧をかけて、異常がないかどうかを調べているとこ

ろである。
やがて電圧が二八〇キロボルトぐらいになったとき、おかしなことに、点灯していないはずの周囲のけい光灯がぼんやり光り出した。
それはけい光灯が電線の周囲にできた「電界」の中に入っており、それによって、けい光灯に電位が誘起されたのである。
電気ストーブに当たっている場合を考えよう。ストーブからは熱が盛んに放射され、我々はそれ(放射熱=輻射熱)を受けて暖まる(ほかに空気による対流熱もあるが、今は問題にしない)。
この場合、ストーブのまわりには、何か〝熱の場〟のようなものがあるようである。つまりストーブに直接ふれていなくとも、そのまわりは暖かい。
今、この熱の場の中に金属板(たとえば銅板)をおくと、その点の熱を吸収して、その位置に相当した一定温度に落ち着くだろう。
熱のたとえは必ずしも適切ではないが、このような〝エネルギーの場〟と言ったものは、日常生活で直感的に体得できるだろう。
「電界」とは、このような〝電気エネルギーの勢力範囲〟である。その存在は、そこにある電荷をもってきたときに作用する力学的な力によって知ることができる。そしてその力の強さによって、電界の強さも定義される。

中央の金属球に直接電圧をかけると，まわりの小球のアルミはくが「クーロン力」によって引きつけられる

また電界の分布つまり、等電位面を表わすには、仮想の線である「電気力線」を用いる。これは地図の上の等高線のようなものである。

磁界とは

方角を知るための磁石のN極の針は常に地球の北を指していることは事実である。つまり地球自体が大きな〝磁石〟であるといえる。地球上至る所〝磁気の場〟であり、磁気エネルギーが充満している。

今、一本の電線に直流を流し、下に磁針を置くと、電流によって電線の周囲に磁気の場ができ、それによって磁針がふれる。つまりそこにできた磁場、または磁界とは、その中にもってきた磁気に、力をおよ

永久磁石のまわりの磁界の分布

ぼす空間なのである。

電磁石は、電線をコイル状に巻いて磁気を作ったものだ。わざわざ鋼鉄をコイルの中に入れたのは磁気の道筋を集中的に、効率よく整理する〝まとめ役〟の働きをさせるためである。

以上の例から〝磁気の場〟はわれわれのまわりにどこにでも見当たり、そしてそれが電気によっても作り得ることがわかる。

磁界の分布を示すには、電界と同様に「磁力線」を仮想すると便利である。

上図は永久磁石のまわりに磁針を置いて、磁力線の様子を見るようにしたものである。

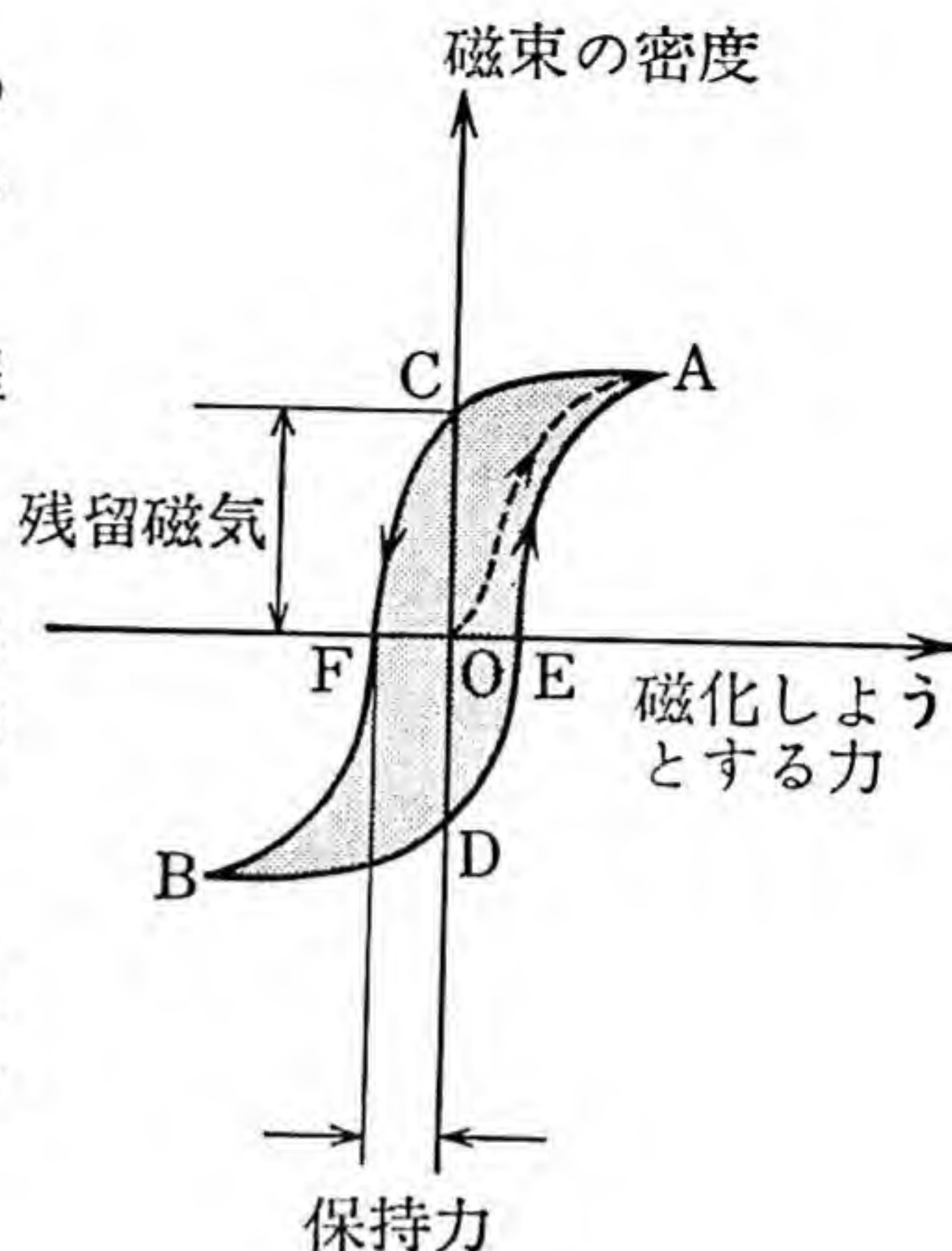
ところで磁界の話が出てきたついでに、二つほどつけ加えておこう。

家庭では沢山の〝磁界のもと〟がある。

ラジオやテレビのスピーカーの中の永久磁石、電話のベ

磁性体を磁化するためには磁化しようとする力が必要である
点線は最初の磁化過程を示す

Aから磁化力を取り去ってもOCだけ残留磁気が残る

それを打消すためにOFだけ反対方向の磁化が必要である

磁性体のヒステリシス特性

ル、テープレコーダーの録音ヘッド……などだから腕時計をうっかりそんなものの側におくと、テンプやギヤが磁気を帯びて時間が狂うもとになる。

注意が必要である。

いま一つは、ヒステリシスについて。

これは、一つの履歴現象である。たとえば世の中には一たんある方向に動き出したムードを、白紙にもどしたり反対の方向に持って行くには非常に大きな力が必要な場合が多い。また景気の変動のくり返しと、購買力のそれとは若干の時間的ずれがある。自然科学の分野でもかなりのヒステリシスがある。電気磁気の分野のヒステリシスはその代表例である。

今、鋼鉄のまわりに電線を巻き、電流

（直流）を流すと、鋼鉄は一定方向に磁化される。次に電流を止めても、しばらく鋼鉄の磁気が残っている。だから磁気をなくするためには、少し反対方向に電流を流してやらねばならない。つまりヒステリシスの生ずる原因は、残留磁気があるからである。

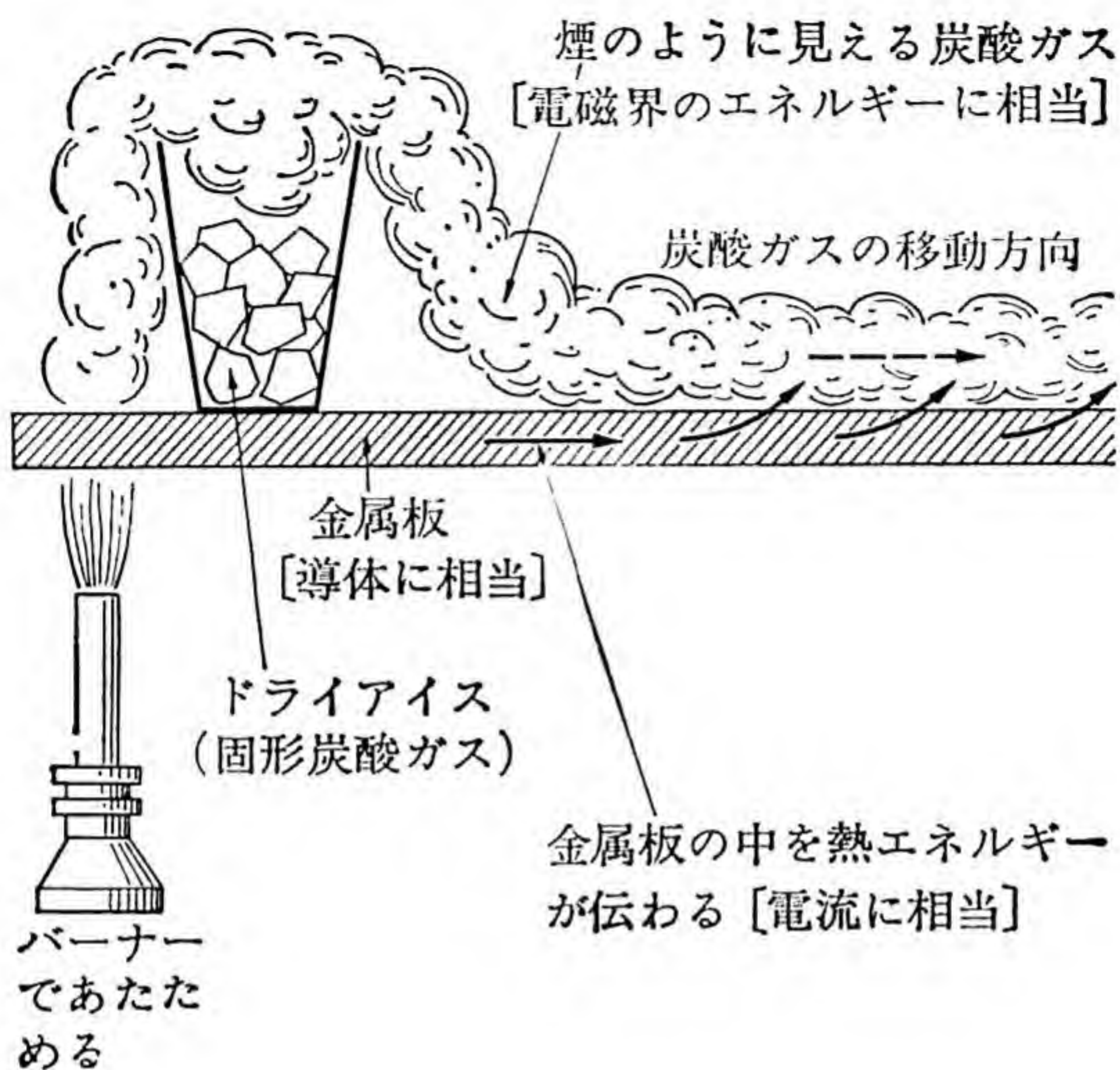
これを利用して、コンピューターの記憶素子の一つであるメモリーコアができる。これは「角形ヒステリシス性」を利用しているものである。

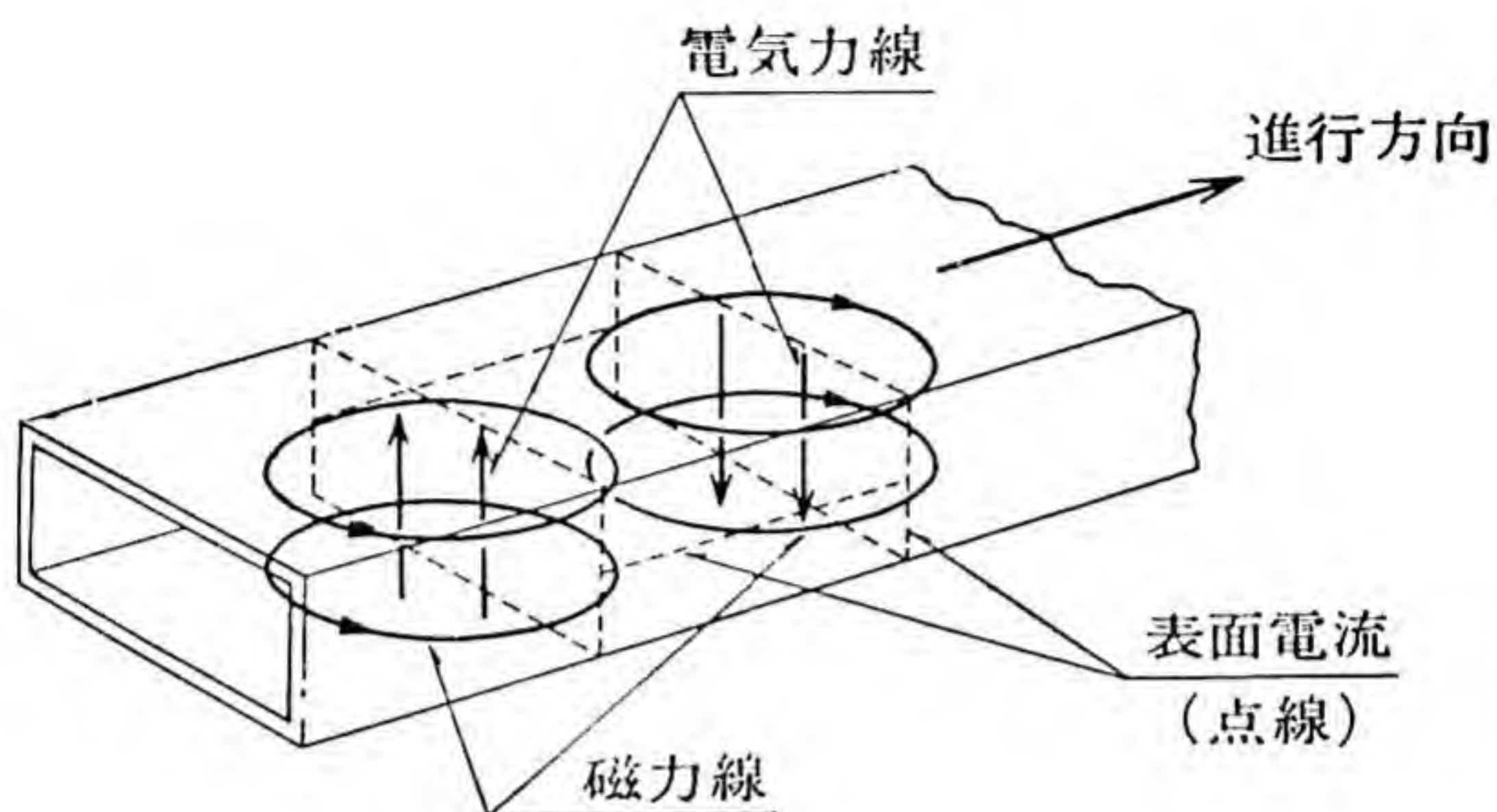
また、先述の金属導体の接触面での、電流の変化に対し、電圧降下の変化が時間的に少しおくれるのも、ヒステリシスの例である。

電気エネルギーは光速で伝わる

さて本題の電気エネルギー伝播のしくみであるが、一言でいえば次のようになる。

導体に電圧が加わり、それによって電流が流れるとき、電圧によって電界、電流によって磁界ができる。そして、それぞれの空間がエネルギーを持つ。したがって、エネルギー輸送の本体は電界と磁界（つまり導体を取り巻く空間）にあって、導体はエネルギーの流れのガイド（レール）になっているに過ぎない。

そして、電界エネルギーと磁界エネルギーは、まるでチェーンのように、じゅずつなぎになって進んで行く――というわけである。

導体はエネルギーの流れのガイド

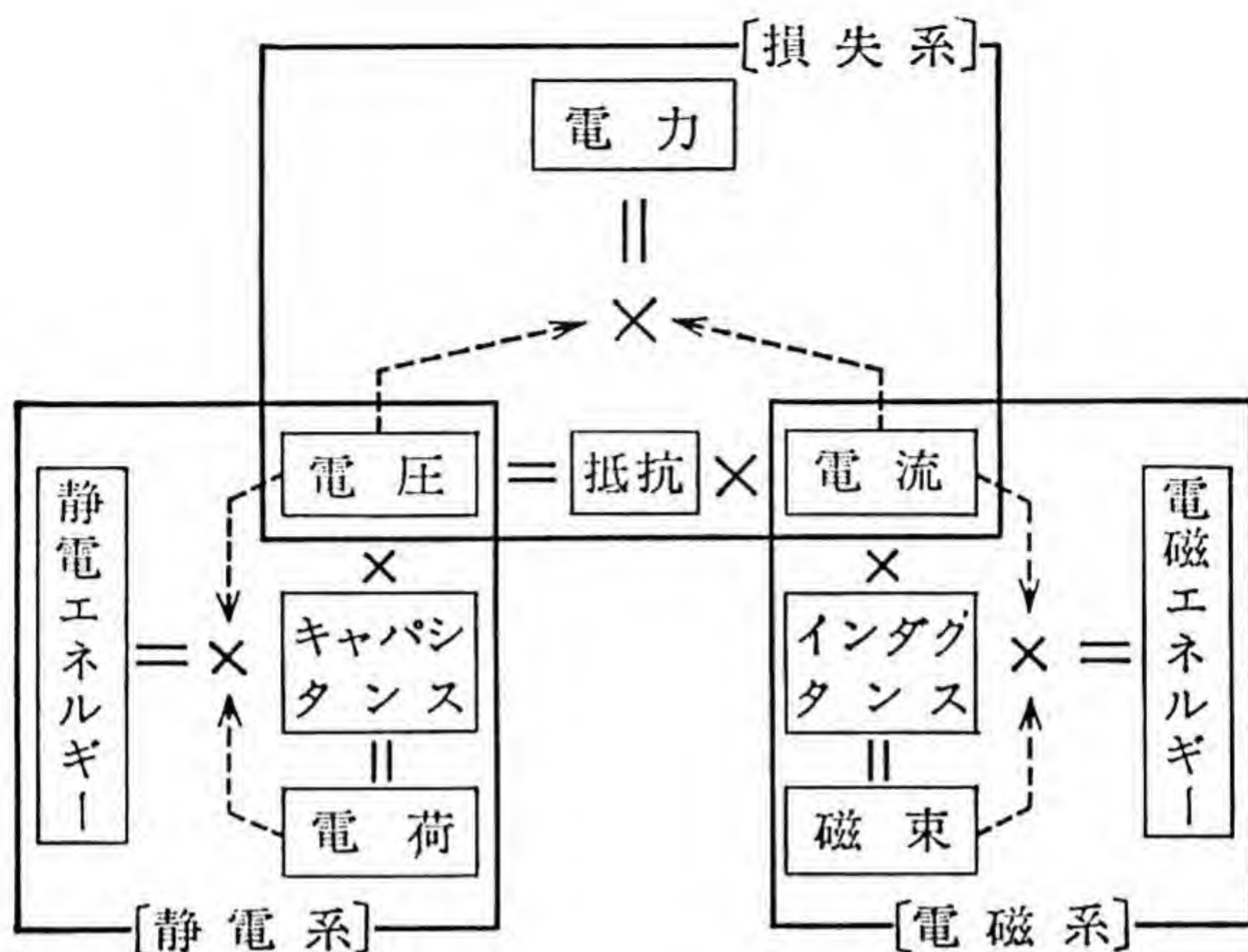
上の図はこの現象を熱の移動に直感的にたとえたものである。金属板の端にドライアイスを置き，バーナーで暖める。気化した冷たい炭酸ガスは板の上をはうように移動する。バーナーから板に移った熱は，板の中を伝わりながら同時にガスにも移る。この場合，両方の熱の移動の様子は板の形にもよるし，またガスの状態にもよって変わる。どちらが主役を演ずるかは場合によって違う。いずれにしても金属板は熱のガイドになっている。

導波管のモデル。高周波エネルギーを管に閉じこめて送る

このような考えは電気磁気理論で確かめられたものである。

そしてこう考えると周波数の高い電気（超短波）を伝送するときの現象も理解しやすくなる。

それは導波管という長方形とか円形の断面をもった中空の管である。

この管の設計をするときは周囲の壁、つまり導体（金属）部分の断面積が一定でも、管の断面形状を変えるといちじるしく電力伝送の特性が変わってくる。つまり、導波管は一風変わった伝送回路で、電気の帰り道がなく、一方通行である。また、電気エネルギーを伝えるこの空間は元来導電性がないから、誘電体による伝送ともいえる。

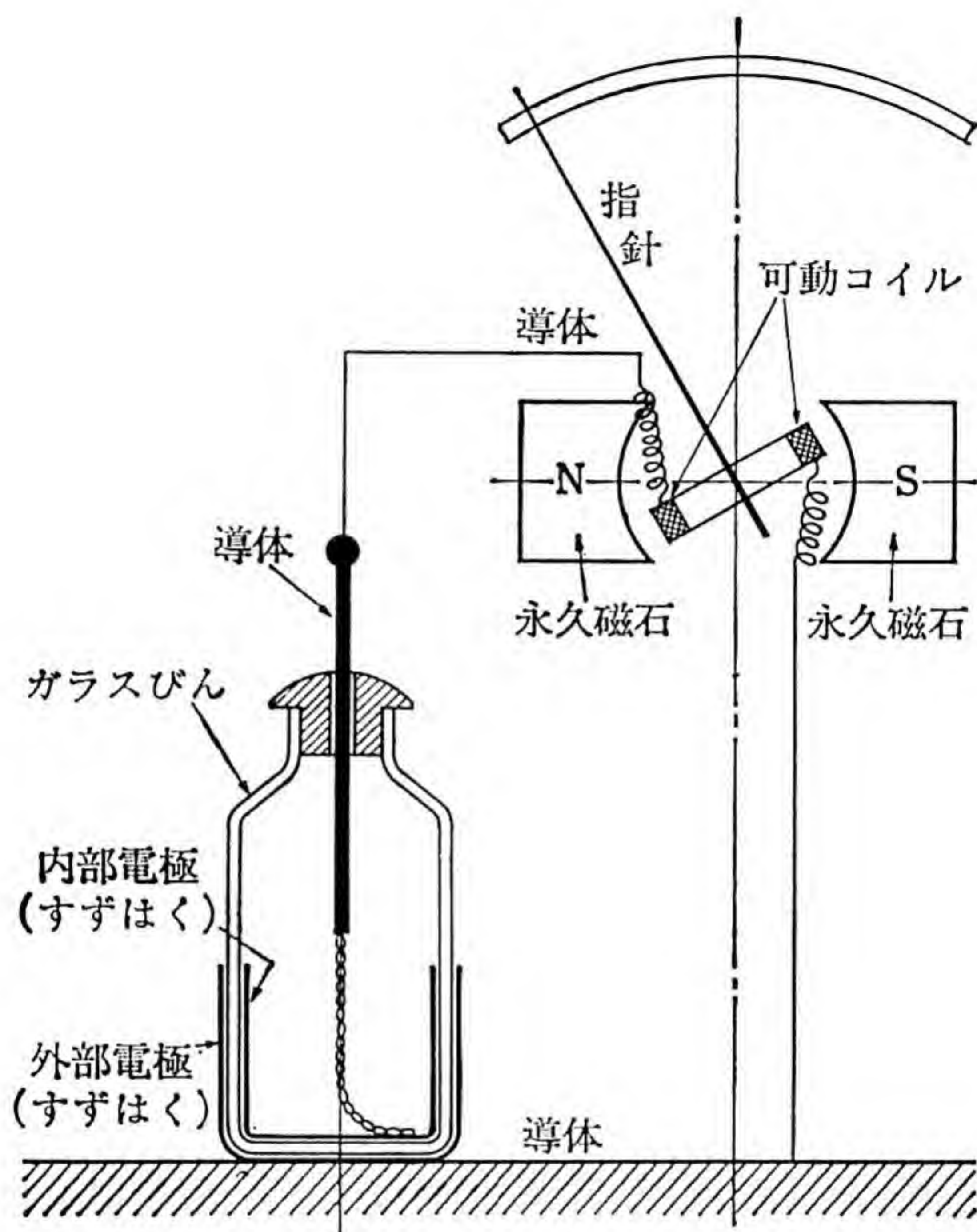
すなわち、導体の周囲の空間が大きな

電気回路のエネルギー系

ウェイトを占めてくるわけだ。

しかし、この考えは周波数の大小によって適用に程度の差ができ、六〇とか五〇ヘルツとかの普通われわれが家庭で使うような場合は、導体の断面積だけで考えても差し支えない。

なお光の速度はエネルギー伝達速度の極限であることはわかっていても、その直接理由はまだ究明されていない。電気エネルギーが光速度で伝わることも同様なのである。

次に、電気エネルギーは、次ページの図のように静電エネルギーと電磁エネルギーとの二つにわけることができる。

たとえばコンデンサーにたまっている状態の電気は静電エネルギーであり、これを

ライデン瓶 ⇨ 検流計

まずライデン瓶に
電気をたくわえ、
静電的に電気量を
測定する

次に検流計のコイル
を通じて放電する
ふれた指針の角度か
ら電磁的に電気量を
測定する

静電エネルギーと電磁エネルギーの関係

コイルを通じて放電すると、コイルの周辺を磁化するのに電磁エネルギーが放出される。この両者間には密接な関係があり、また可逆性がある。

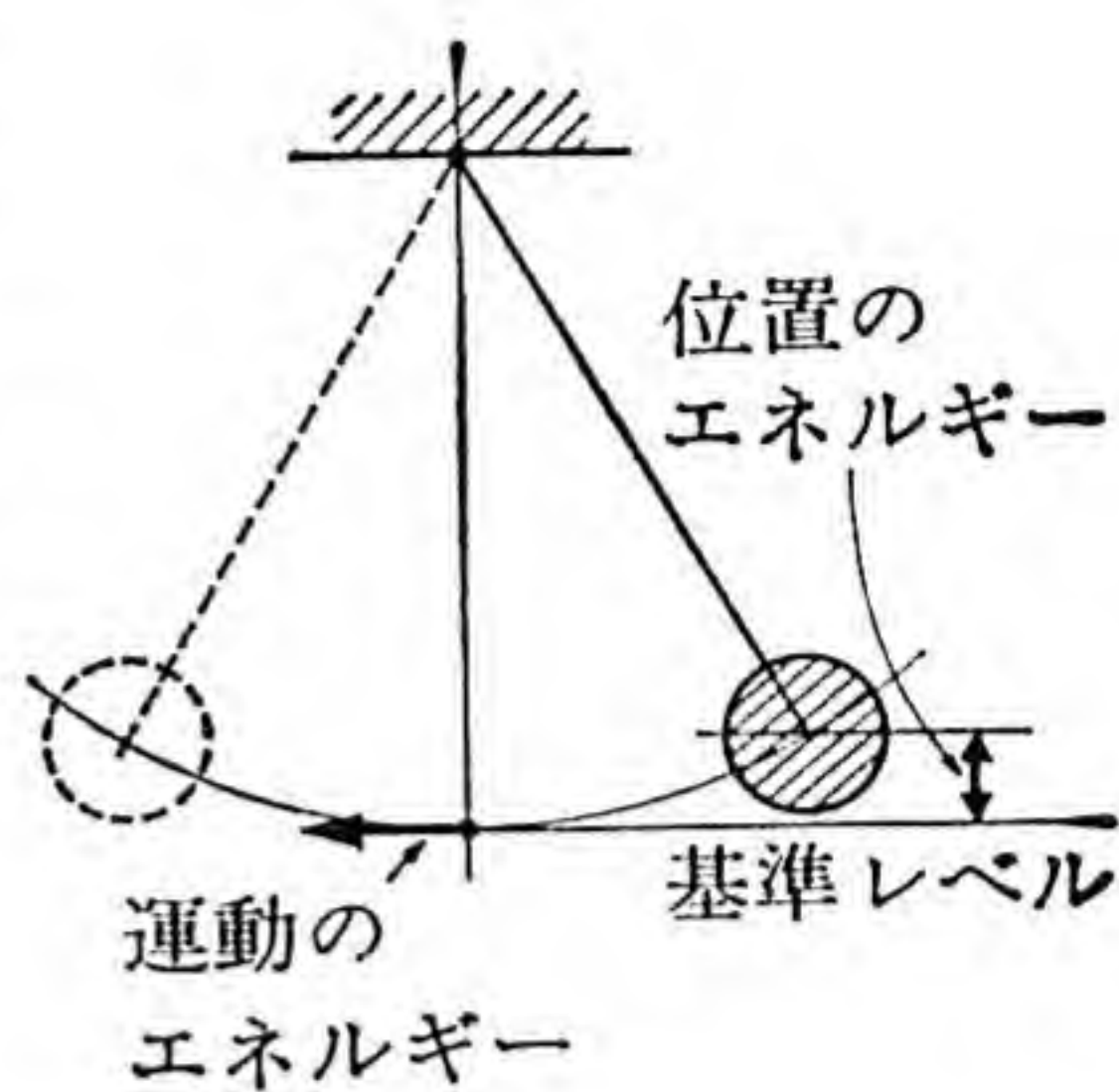
両者の関係をはかるには、はじめライデン瓶（コンデンサーの一種）を静電的に測定した既知の電圧Vで充電する。静電容量Cは寸法から計算によって求められるから、$Q_s = CV$ の関係から電気量 Q_s も計算できる。

次に電磁単位で電荷を測定するには、このライデン瓶を検流計のコイルを通じて放電する。この瞬間、電流は検流計の針に力をおよぼすので、針はある角度だけふれてもとに返る。その最大のふれと、針の振動周期と、地磁気の水平成分と、検流計の常数とから、電磁単位できまる電気量 Q_m が求まる。

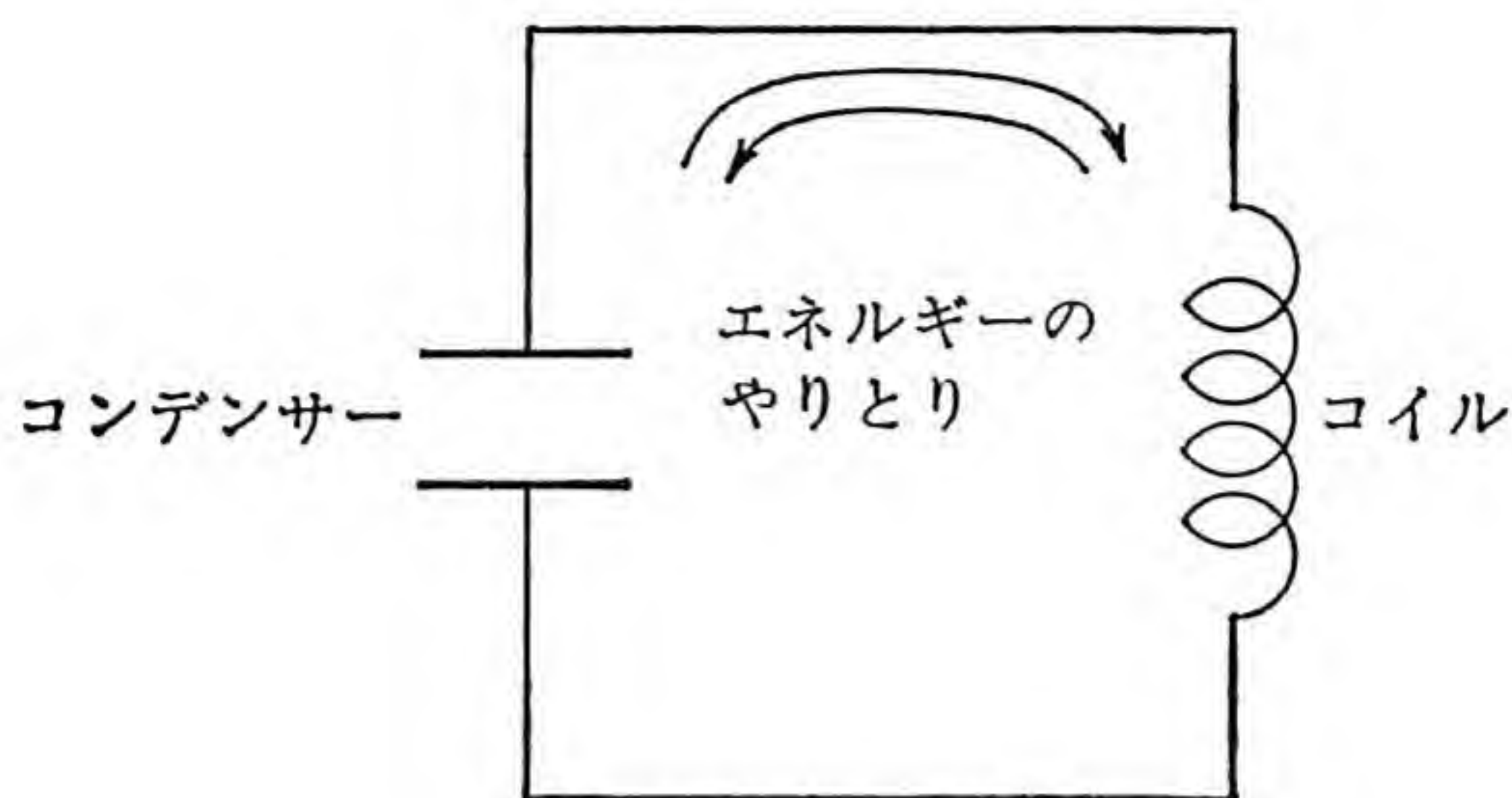
この実験は一八五六年にドイツの有名な生理学者である、ウェーバー等が発表したものである。

共振の話

時計の「ふりこ」を考えよう。

ふりこは地球の重力によって一定の周期で振動をくり返す。右へ移動したときにたくわえられた「位置のエネルギー」は、その直後、逐次「運動のエネルギー」に変わり、中央の一番低い位

置で全部「運動のエネルギー」に置き変わる。そして、再び左端で「位置のエネルギー」にもどる。
このようにして、両エネルギーの交互変換が続けられる。
ただし、「位置のエネルギー」の基準レベルを、ふりこの最下端にとった場合である。
つまり、ふりこの振動エネルギー源は、最初に一回与えた運動のエネルギーまたは位置のエネルギーであり、あとはまさつその他の損失がなければ、永久運動をくり返すわけである。未来の「ふりこ鉄道」もこれとよく似たものである。

ふりこのエネルギー

中程度の地震があった。地震がすんで外へ出て見てびっくりした。大してゆれなかったはずなのに、一軒の家が見事に倒れている。よく調べると「共振」が原因だということがわかった。地震の振動の周期と、家の固有周期とが一致して、大地とその家との間での地震のエネルギーの〝やりとりが大きくなりすぎ〟ゆれすぎたのである。
以上の二つのたとえは、電気回路にも当てはまる。電気回路の共振現象がそれである。

電気回路の共振

図のように、コイルとコンデンサーを、たとえば直列につなぎ、コイルのインダクタンスLとコンデンサーのキャパシタンス（静電容量）Cをつなぐと、この回路の固有周波数fは次式で求まる。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{ヘルツ})$$

ただし単位として、Lは「ヘンリー」、Cは「ファラド」を用いる。

そして加える交流電源の周波数をこれに合わせると、回路に抵抗がなければ、理論的に「無限大」の電流が流れる。つまり、電流は各サイクルごとに大きく、ショートしたようになる。

交流電源を取り去った後、コイルにたくわえられた「電磁エネルギー」は、その直後、コンデンサーに「静電エネルギー」としてたくわえられ、両者のエネルギー変換がくり返される。

先述のふりこ系の位置のエネルギーが静電エネルギーに、運動のエネルギーが電磁エネルギーに置き代わると考えるとぴったりするだろう。

なお共振系の中のエネルギーは最初外部から一回分だけ得たエネルギーであって、それが「振動」によって系の中でやりとりされているのである。

そしてやりとりする間の損失（系の外へ逃げて行くエネルギー）がなければ、永久に共振をくり返すことになる。

この共振回路には、直列共振と並列共振の二通りある。

直列共振回路は共振すると電流が最大になるので、ラジオの同調回路に使われる。アンテナから入る微弱な電流の周波数に回路の共振周波数を一致させて、他の周波数から分離して大きく選び出す働きをする。

共振現象がなければ、われわれの周囲では多くの電波がこんがらかって手に負えないことになるであろう。

また、電波の微弱な電力をとてもそのままではキャッチできないだろう。

「共振現象」は、電波を手元に拾い上げるために極めて大きく役に立っている。

ここで、電気エネルギーを導く導体の説明に、いくらか補足しなければならない物質が登場する。

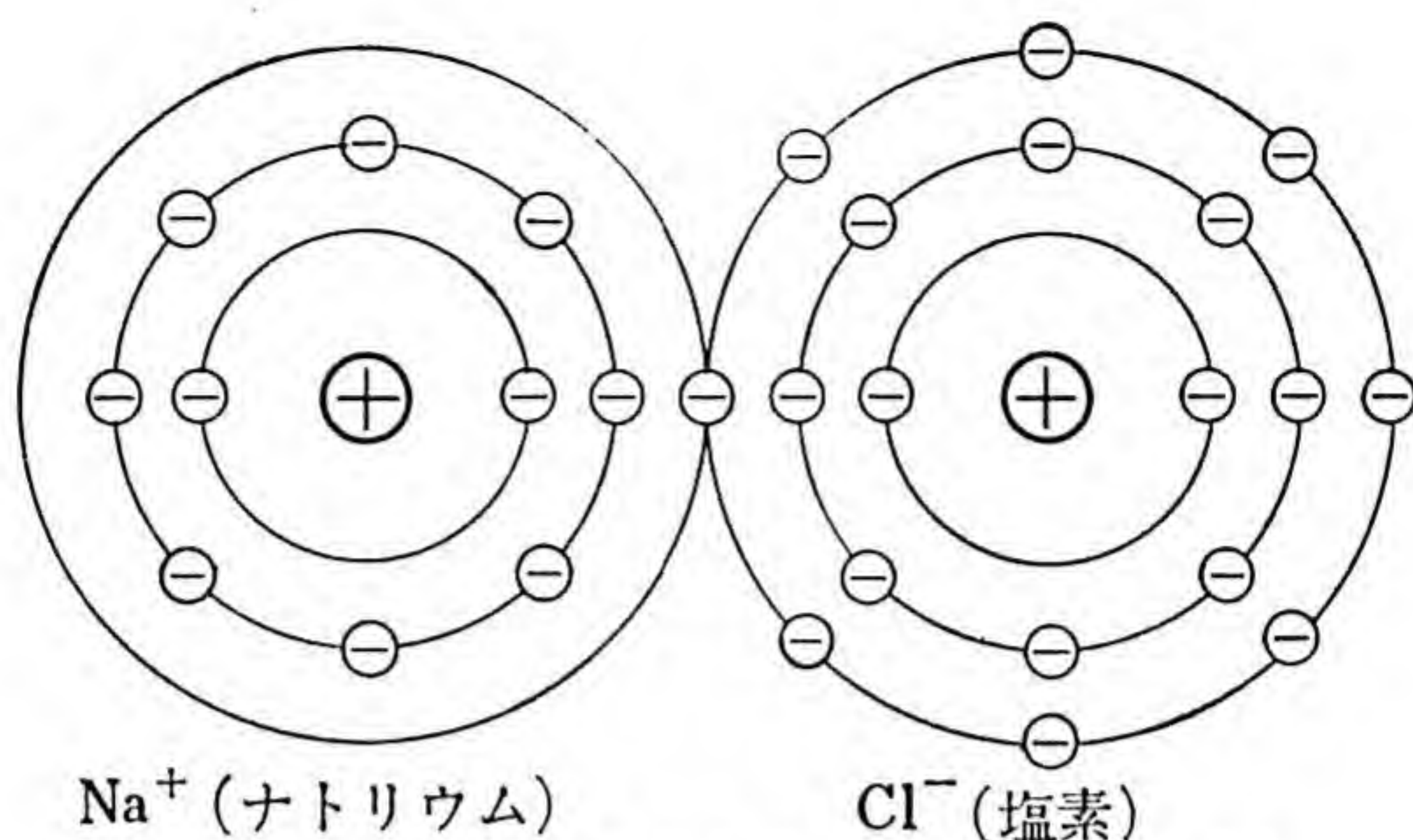
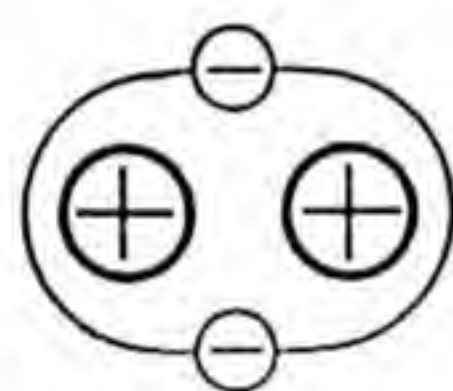
すでによくご存知の「半導体」である。

半導体そのもののくわしい説明は本書の目的ではないが、電気の運び手、つまりキャリヤーを理解する手段として、少しばかり半導体の中にもぐり込んでみよう。

半導体という名から考えると、いかにも〝導体と絶縁物との中間の抵抗を持つ材料〟という感じが先に立つ。たしかに基本的な性質は、その通りである。

しかし、主な働きや用途はそんなものではなく、導体や絶縁物にない全くユニークな性質を利用するものである。それは「受け身」の物質ではなく、実に積極的な「エネルギー変換機械」である。

ここで、受け身というのは、電流が導体を流れるときのジュール熱や導体のまわりの電磁界エネルギーの発生などの受け身の回路（受動回路）のことだ。これに対して真空管やトランジスターの回路は電力の増幅作用を伴うので積極的な回路という意味で「能動回路」と呼んでいる。

半導体は今日、われわれの生活に密着している。最も有名なトランジスターは、ラジオやテレビの革命をもたらし、電話機や、カメラの中の自動露光装置や、制御可能の整流器などが、どんどん生まれている。

イオン結合と共有結合

東海道新幹線は二五キロボルトの交流を電車のパンタグラフで受けて、変圧器で電圧を下げ、半導体の一種であるシリコン整流器で直流になおして、直流モーター（脈流モーター）を回している。また山陽新幹線ではサイリスターを用いるようだ。

さて、導体に電圧が加わったときに電流が流れるのは、その中に電荷の運び手である自由電子が動き得るからであった。

ところが半導体の場合は、自由電子のほかに「正孔」と呼ばれる〝電子のぬけ穴〟も運び手に加わる。これらを総称して「キャリヤー」と呼ぶ。

いくつかの原子がくっつく（結合する）には二つの方法がある。一つは、片方の原子が電子を持ち分以上に持ってマイナス・

イオンとなり、もう一方が電子を失ってプラス・イオンとなり、プラスとマイナスのイオン同志がくみあう「イオン結合」である。

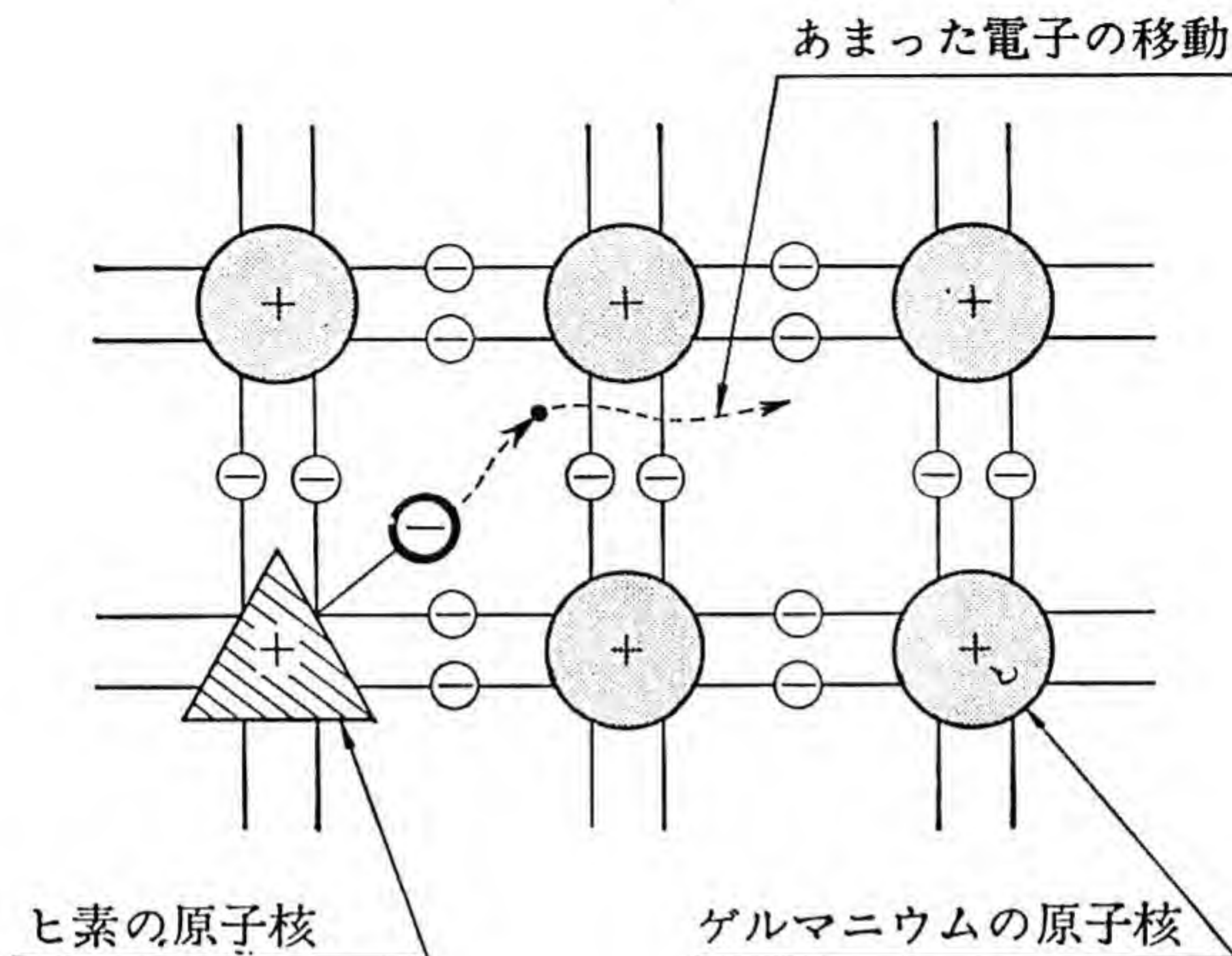
このほかに「共有結合」がある。これは原子の一番外側にある電子を隣接する原子同志が共有するものだ。共有された電子は、売れっこ芸者よろしく二つの座敷をかけ持ちしているようなものである。

ケイ素やゲルマニウムは四個の電子を共有しあって共有結合をする。両方とも元素の状態では絶縁物だが、共有結合すると、結合力が弱いため、常温で、結合電子の一部が〝戦列〟をはなれて自由電子になる。この〝異端者〟によって若干の導電性ができる。

このような半導体を「真性半導体」という。〝まざり気ない半導体〟である。

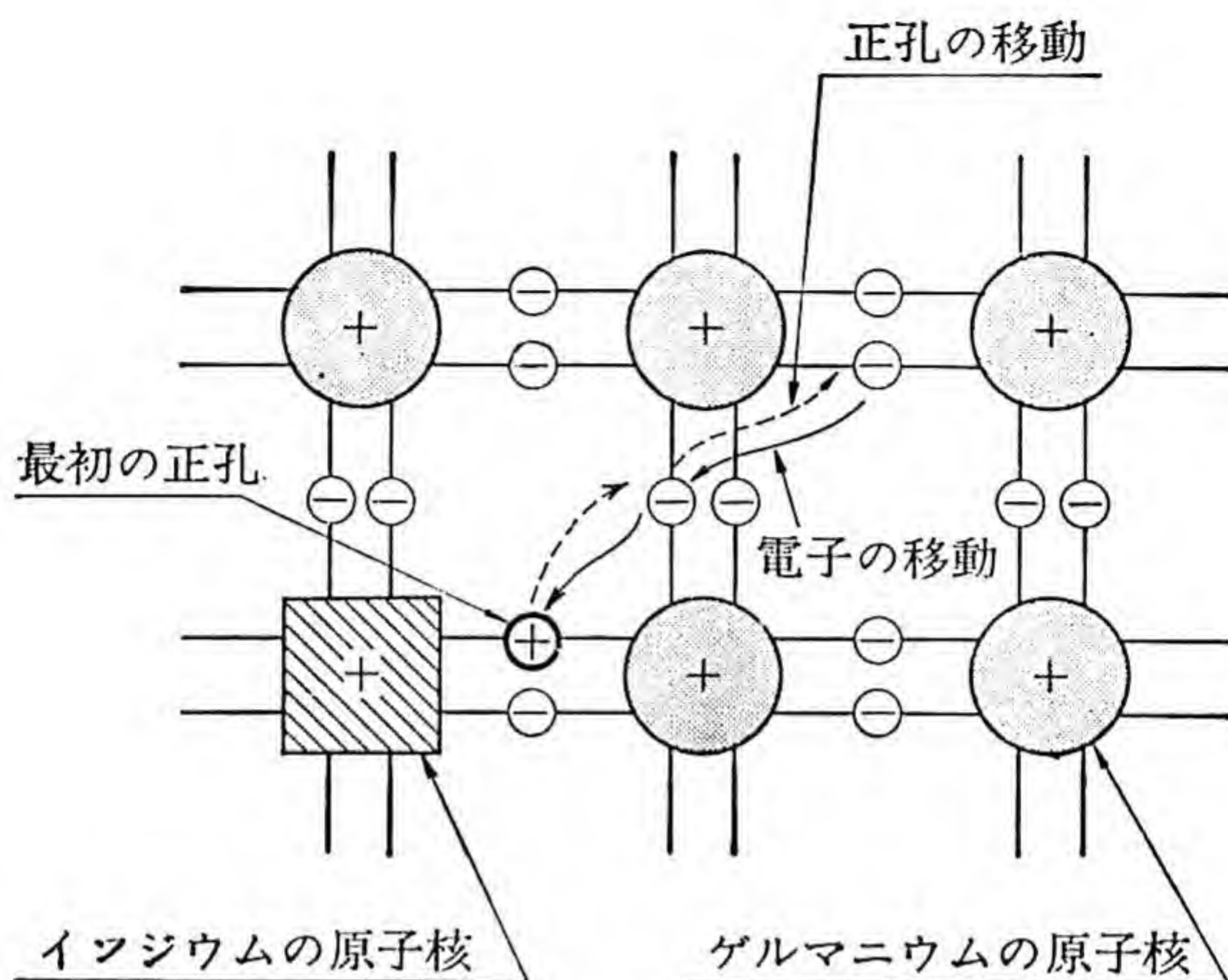
結合中の電子のうち、一つが自由電子になって抜けると、そのあとは〝せみのぬけ殻〟のようになる。マイナスの電気を持つ電子が抜けたのだから、結果的にはプラスの電気粒子が入り込んだのと同じことになる。そこでこのぬけ穴を「正孔」と呼ぶ。

電子に出られたあとは落ち着かないから、次々に他の電子を借りて来て埋めようとする。だから正孔はでたらめに動きまわる結果となる。

軍国時代の日本の軍隊のように、鉄帽を失ったA分隊の兵士が、B分隊から一個失敬して来る。とられた方は不便だからC分隊から一個とってくる。このことをぐるぐるくり返して行く。

N形半導体

小隊長から見れば鉄帽の不足している分隊は、A、B、Cとぐるぐる回っているように見えるだろう。

真性半導体は、常温ではまだまだ抵抗が高すぎて実用には魅力がない。つまりキャリヤーが少ない。そこでほんのちょっぴり、不純物を入れて見る。これが「不純物半導体」で、実用されるのは全部これである。

いま、図のようにゲルマニウムの共有結合体にヒ素（As）をわずか入れる。ヒ素は原子の一番外側に五個の電子を持っているから四個の電子を提供したあと、一個の電子をあまし、これが自由電子となる。自由電子が援軍にかけつけたのだから、当然電気が流れやすくなる。つまり不純物は電子

P　形　半　導　体

を寄付したことになるから、「ドナー（寄付する人）形半導体」または「N形半導体」と呼ぶ。

次にゲルマニウムの共有結合体にインジウム（In）をわずかに入れる。インジウムの原子は反対に外側の電子は三個しかないから、共有結合のためには、どこかから電子を一個失敬してくる。とられた方は正孔となる。先の鉄帽のたとえで正孔はぐるぐる動きまわる。正孔が動いても電気が流れやすくなる。

この場合、不純物は電子の寄付を受けたことになるから、「アクセプター（受取人）形半導体」、または「P形半導体」という。

原子のグループは保守的で「現状維持

派」だから、異端者が入るといろいろ問題が起こる。
なお、不純物の割合はほんのわずかで、テン・ナイン（99.99999999パーセント）程度の高純度の半導体の原子一億個に対して、数個の割合である。
現在、この純度はさらに向上する傾向にある。
P、N形半導体をいろいろ組み合わせると有名なトランジスターなどができる。

この章の結論は、「電気輸送の本体は、導体の周囲にある電界エネルギーと磁界エネルギーである」そして、「固体の中を電気を運ぶにない手は電子と正孔とからなるキャリヤーである」ということである。
しかし、右の二つの結論は、ちょっと矛盾した感じがする。
空間をエネルギーが伝わるのに、なぜ導体中を電子が動くのか。
一体、この二つはどんな関係にあるのか。
この辺をよく考えて頂きたい。
では、そのために次のような考え方はいかがであろうか。
物事には一般に二つの見方がある。それは「ミクロとマクロ」である。つまり、物を外から大きな観点から眺めるのと、中へ入り込んで小さなところから細かく見つめる方法である。

これは世の中のすべてに適用できる考え方である。

電気の世界も同様だ。

たしかに、自由電子や、場合によって正孔も、電荷をかついで、また途中で巧妙にリレーして、導体や半導体の中を走って行く。それを連続的な目で眺めると電気エネルギーが伝わって行くように見える。それをわれわれは「電流が流れる」と呼ぶのだ。

しかし、これは一つの見方であって、一方、電気磁気学的な見方をすると、少し様子が変わって来る。

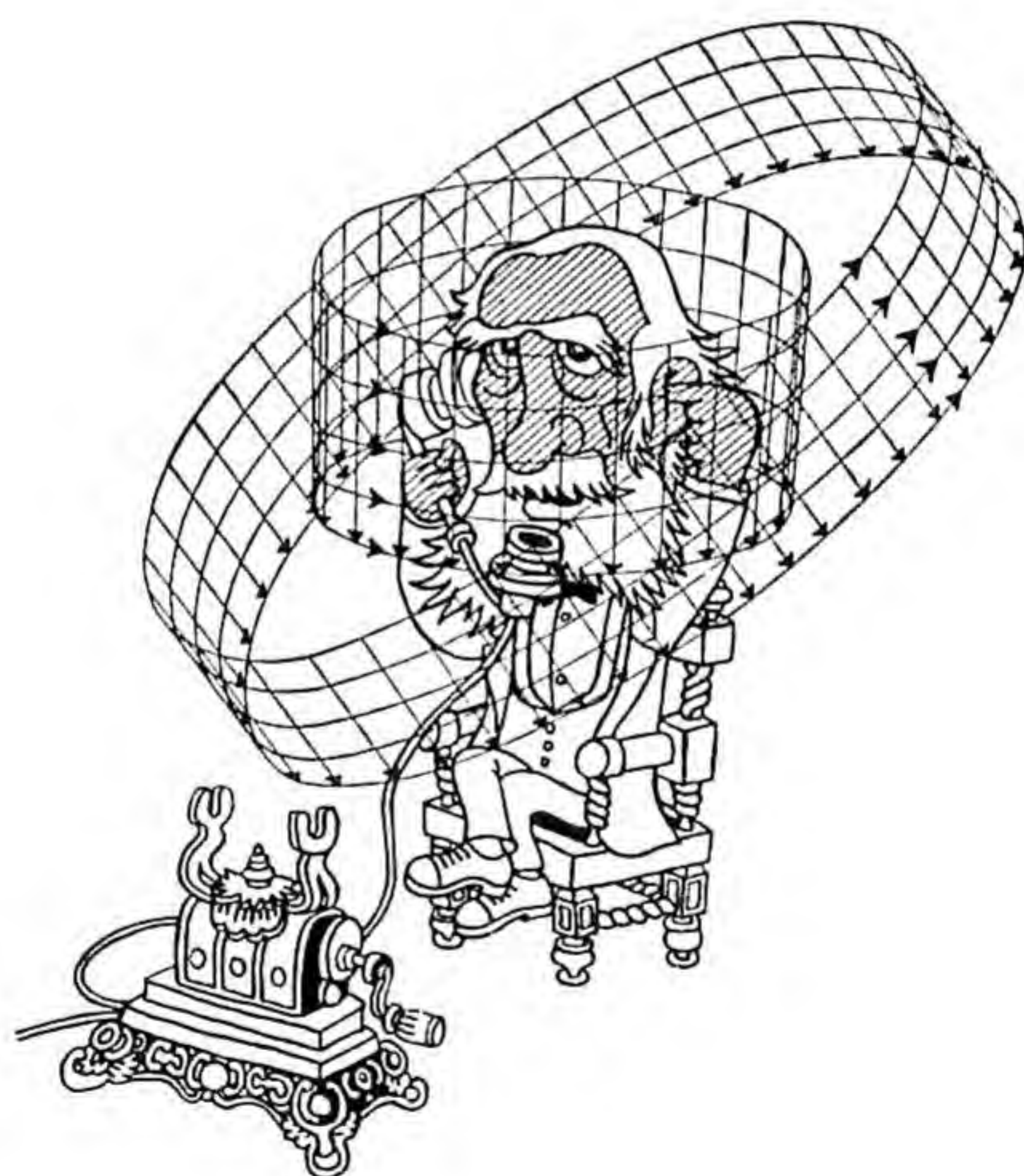
〝電荷の移動によって〟主として電線の周囲にできると仮定した、電気力線や磁力線で代表される電界や磁界のエネルギーが、電気を当然運ぶ。そして、〝原則的には〟導体はガイドやレールに過ぎないと考える。

それなら、なぜレールに過ぎない導体に電流を流すと、電流の二乗に抵抗をかけた形で表わされる「ジュール熱」ができるのか。

古典的な説明ながら、〝ラッシュ・アワーのプラットホームを群衆より早く急行車に乗ろうとかけ出す乗客〟のように、自由電子が導体の中の原子にあちこち衝突して、そのために熱エネルギーを吐き出すというのもわかりやすい説明である。

一方、導波管のように、導体の断面積だけでは電気エネルギーの伝わり方がきまらないケース

も現実にある。
そこで本書では、次のように考えておくことにしよう。
「導体の中も外も電気エネルギーの伝送に参加していることは事実だ。そして、その参加程度は周波数の大小で変わる。
また、電気エネルギーの伝達過程の取り扱い方でこのようにも変わって来るのだ」と。

6　高周波の世界

高周波とは

前章までに出てきた交流は、一般に六〇および五〇ヘルツぐらいのいわゆる低周波であった。先述のように普通の交流にはたしかにいろいろな特殊現象があるが、それでもまだおとなしい部類に入る。

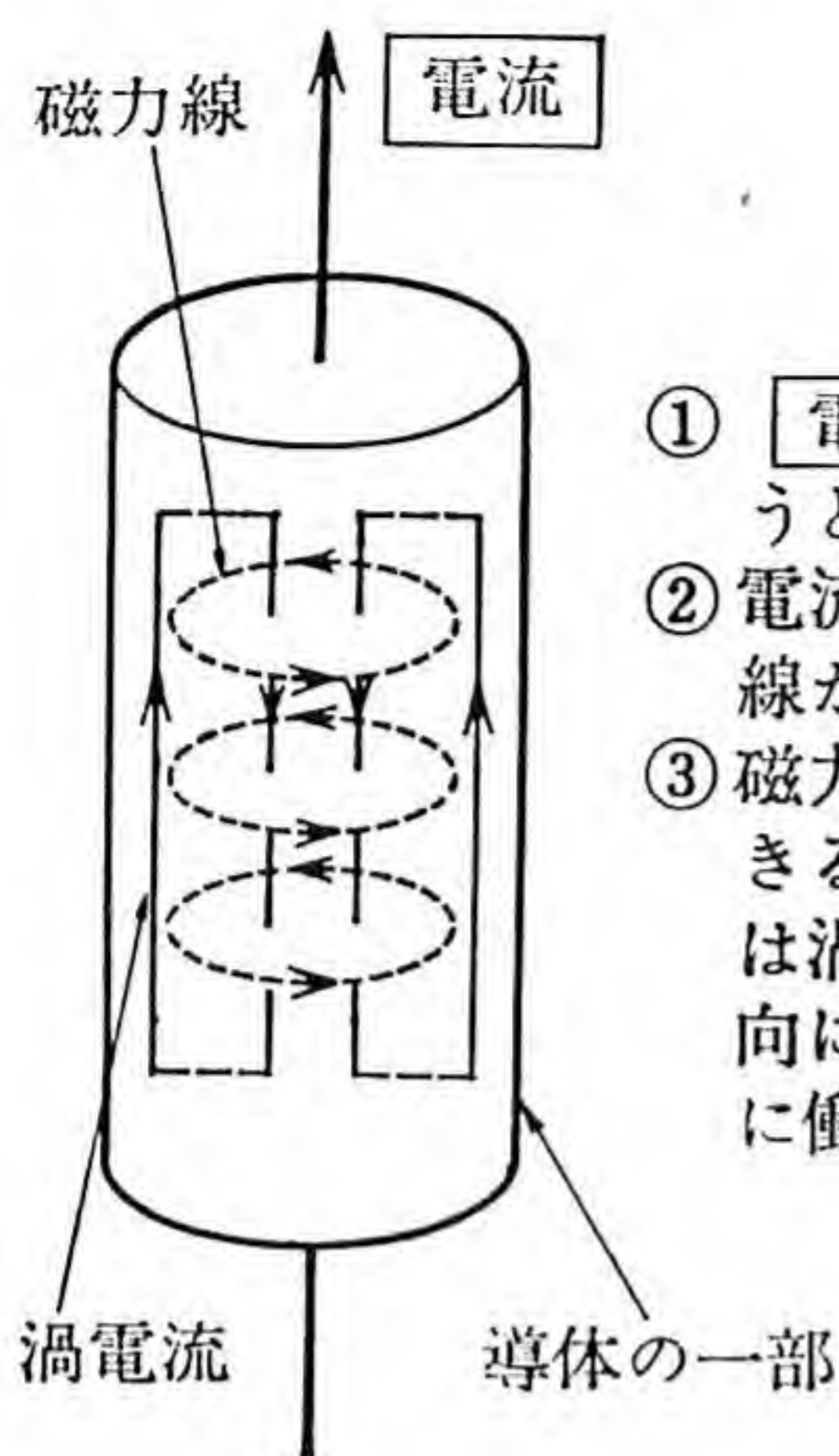
だが、この周波数をうんと高めて行くと、ちょっと変わった現象が現われてくる。それも導体中ならまだよい。

問題は、高周波の交流が放射エネルギーを出すことである。つまり、電界と磁界がからみ合った電磁波（いわゆる電波）が放射され、伝播して行くのである。

これについて考えて行こう。

マラソン選手、「高周波」

交流のうち、周波数がうんと高いものを特に「高周波」と呼ぶ。高周波になると、六〇ヘルツや五〇ヘルツの交流にくらべて、いろいろ変わった現象が起こる。

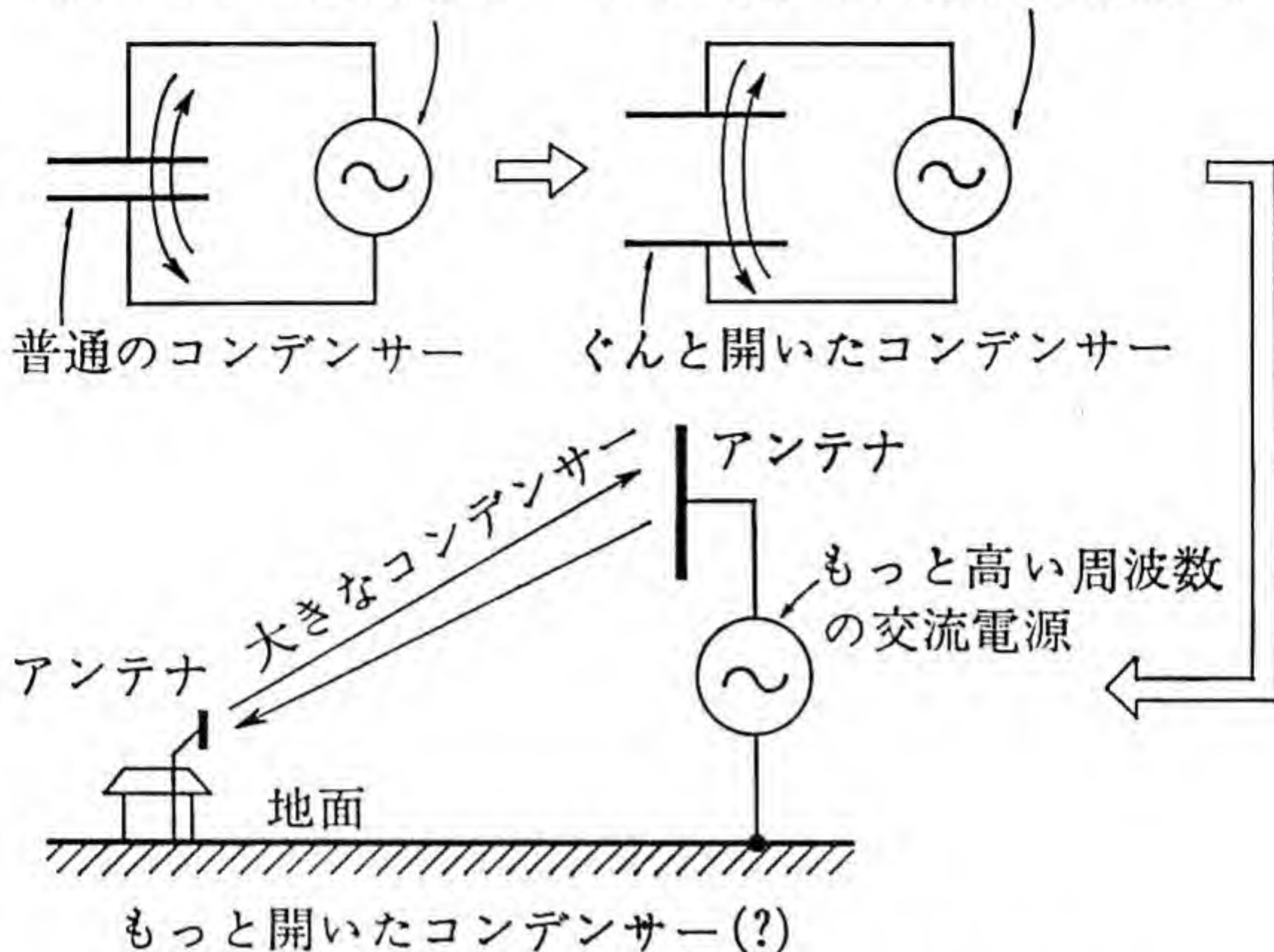
まず導体中でも電流が流れにくくなる。導体の中の方が磁束と交叉する度合が多くて、電流が導体の表面に集まろうとする。だから同じ断面積の導体でも高周波に対する（実効）抵抗は普通

導体の表皮効果

の交流の場合よりはるかに大きくなる。
これは導体中心部の電流ほど、その電流と鎖交する「磁束」の数が多く、したがって部分的にインダクタンスが大きくなるからである。これが「表皮効果」である。
たとえば二〇〇キロヘルツの電流を導体に流すと、表皮効果を考慮に入れた抵抗は、六〇や五〇ヘルツの約三〇倍にもなる。
家庭の配線は細いから、普通に使う場合はまず問題はない。
不便なことがあればよいこともあるもので、反対にコンデンサーの中は通りやすくなる。周波数が上がると、コンデンサーの両極の間を、すいすい（？）飛び越えて行く。
ラジオの中へ雑音のもとになる高周波電

60ヘルツの交流電源　もっと高い周波数の交流電源

普通のコンデンサー　ぐんと開いたコンデンサー

アンテナ　大きなコンデンサー　アンテナ　もっと高い周波数の交流電源　地面

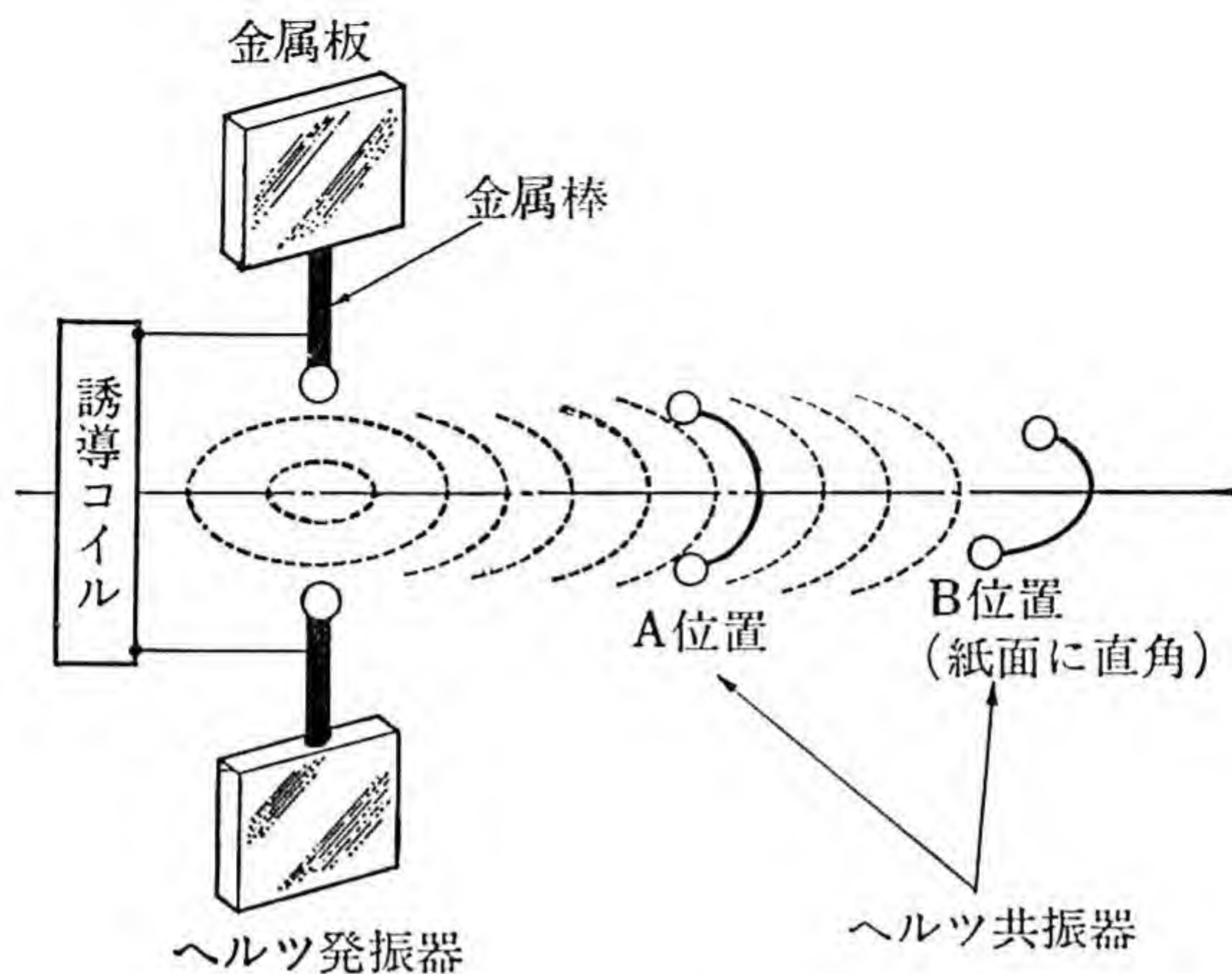
もっと開いたコンデンサー(?)

アンテナはコンデンサーの一種と考えるとわかりやすい（厳密にいうとちがう）

流が入らないようにするには、電源端子にコンデンサーを並列につないでやる。そうすることで雑音電流はコンデンサーの中を素通りさせることができる。

したがって同じ値の電気を通すのに、周波数が高くなればなるほど、コンデンサーの両極をはなして行くことができるはずである。

やがて、コンデンサーの一方の極を地面から絶縁して立てた「アンテナ」とし、他方の極を地球自体（地面）としてもよいように思われる。

それは空間を飛び交うと〝信じられている〟電波の話に向かうことになる。

この類推は基本的に問題はあるが、話の方向として、たとえ話には分かりやすいよ

ヘルツの実験

うだ。

電磁波の発見

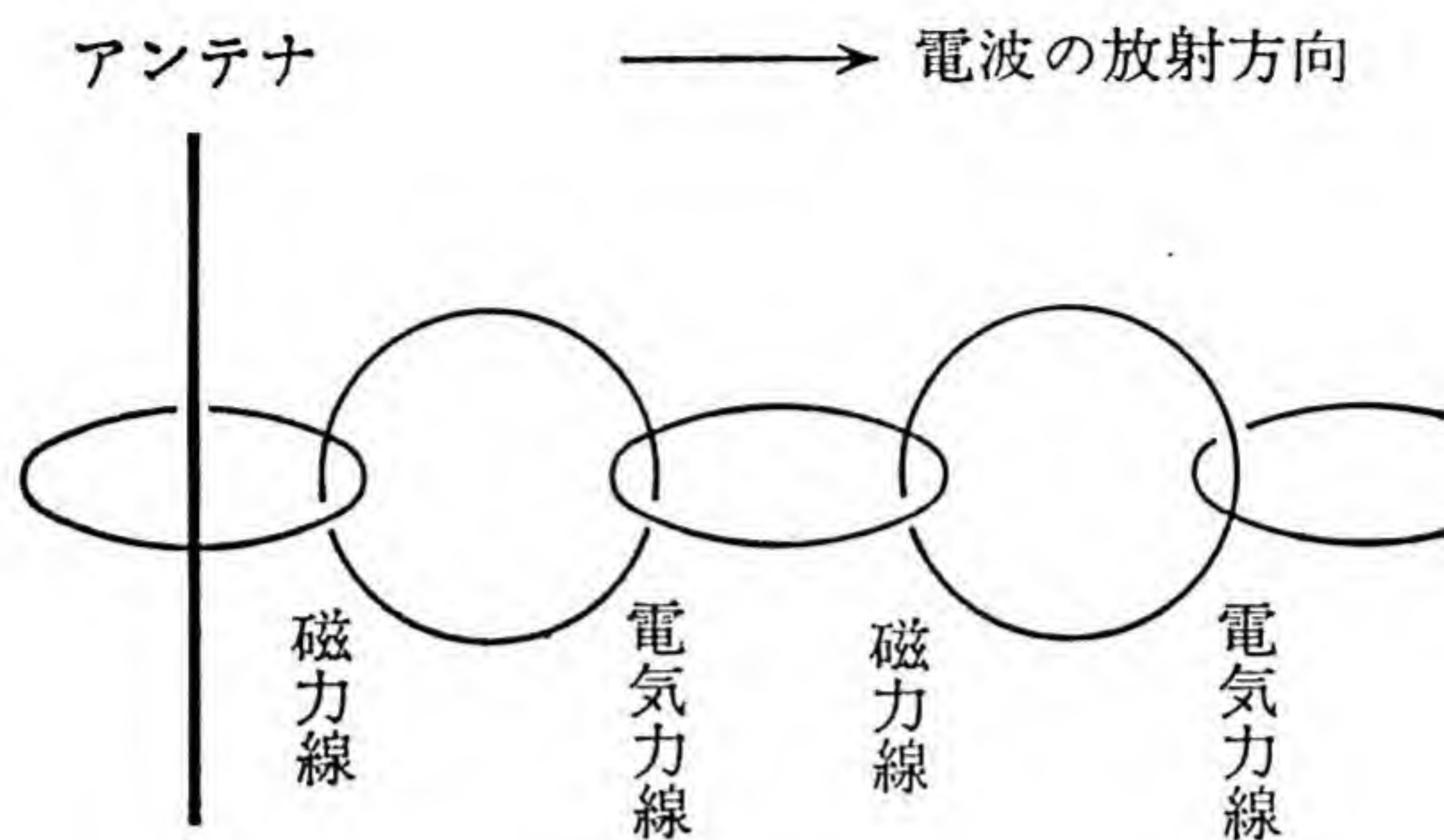
一八八八年に、ドイツの物理学者ヘルツはおもしろい実験をした。

二個の短い金属棒の両端に、金属球と金属板を取り付け、これを誘導コイルの高圧側に接続し、電圧を徐々に高めて行くと、遂に両球間のギャップに火花がとぶ。

次に彼は針金を適当に円形に曲げ、その両端に小さい金属球を取り付け、わずかなギャップを作った。

この「共振器」を金属棒の軸を含む面内にAのようにおくと、ギャップに火花放電が起こったとき、共振器にも火花が飛んだ。

次に共振器をBの位置におくと、ギャッ

プに火花放電が起こっても、共振器には火花が出なかった。
これはギャップ（一種のコンデンサー）に火花の形で高周波電流（金属棒と金属板の持つインダクタンスとキャパシタンスによりきまる――共振する――高周波電流）が流れたとき、その周囲に磁力線ができ、それが外周へ伝わり、Aの位置の共振器の針金（一巻きのコイルに相当）に電磁誘導作用で電圧を作ったのである。
しかし、Bの場合は、磁力線と針金とは同じ平面にあるから、（磁力線は針金を横断しないから）電圧ができないのである。
つまり、磁力線の波（これが結局、電磁波＝電波である）はこの図で「横波」として伝わって行くことがわかる。
このことから発振器と共振器とは、「鉄心」のない一種の変圧器と考えられる。
電波が目的物に電圧を誘起させる直接の働きは、このように、磁力線によるものである。そしてその伝わる姿は電気（電界＝電気力線で代表する）と磁気（磁界＝磁力線で代表する）の組み合わせ波と考えられる。だから電波とは、本来、「電磁波」のことであり、いつの間にか「電波」と略称されているに過ぎないのである。
電気と磁気の組み合わせのようすは、電気力線の輪と磁力線の輪とがくさりのようにつながって行くと考えるとわかりやすい。

電波のモデル

つまり、磁力線と電気力線とが、互いに原因と結果を保ち合って、まるで人間社会の〝持ちつ持たれつ〟のような関係で進んで行くわけである。

これをモデル化して示したものが上図である。ただし、実際には電界の波と磁界の波とは、九〇度向きが違うだけで、位相のずれはないことに注意していただきたい。

次に先述の横波とは、水面上の波のように進行方向に対して、直角に振動するものをいう。つまり、水面に石を投げて、一つのきっかけを作ると、水面に波ができる。この波は水面の一部に生じた凸凹が原因となって、そのまわりの水の圧力のつりあいが破れ、次々に波が伝わって行く。

なお、それを音にたとえれば、バイオリンの絃の振動は横波であり、空気中を伝わる音波は「立て波」である。

要するに電波とは、アンテナから「シャボン玉」のように、磁力線の輪がとび出し、次は電気力線の輪、次に磁力線の輪といった順で伝わって行くものと考えるとよい。

電波はこのようにして、「空間」を光の速度で伝わって行く。

そして途中の空間は空気でも真空でも、その間に充満する物質に関係ない。音波が伝わるのに必要な媒質である空気の有無には、電波は無関係である。

電波も光も電磁波の仲間である。光が太陽やその他の宇宙の彼方から真空中を伝わって来ることと考え合わせると、このことは納得できるだろう(光は波長が三八〇〜七六〇ナノメートルの電磁波である。一ナノメートルは10^{-3}ミクロン)。

昔の人は電波は空間に充満するある種の物質(エーテル)が媒質となって伝わると考えていた。音波が真空中を伝わらず、空気やその他の物質を媒質として伝わることを考えると、無理もないだろう。

マクスウェルの推理

ヘルツが先述の実験をする前に、すでにイギリスの学者、マクスウェルは電磁波の存在を予想していた。

彼は一八七一年に有名な「光の電磁波説」を発表したのだが、それまでの彼の考え方がおもし

ろい。そして科学というものは理論の展開もさることながら、インスピレーションというか、日頃の頭の体操が必要なことを物語っている。

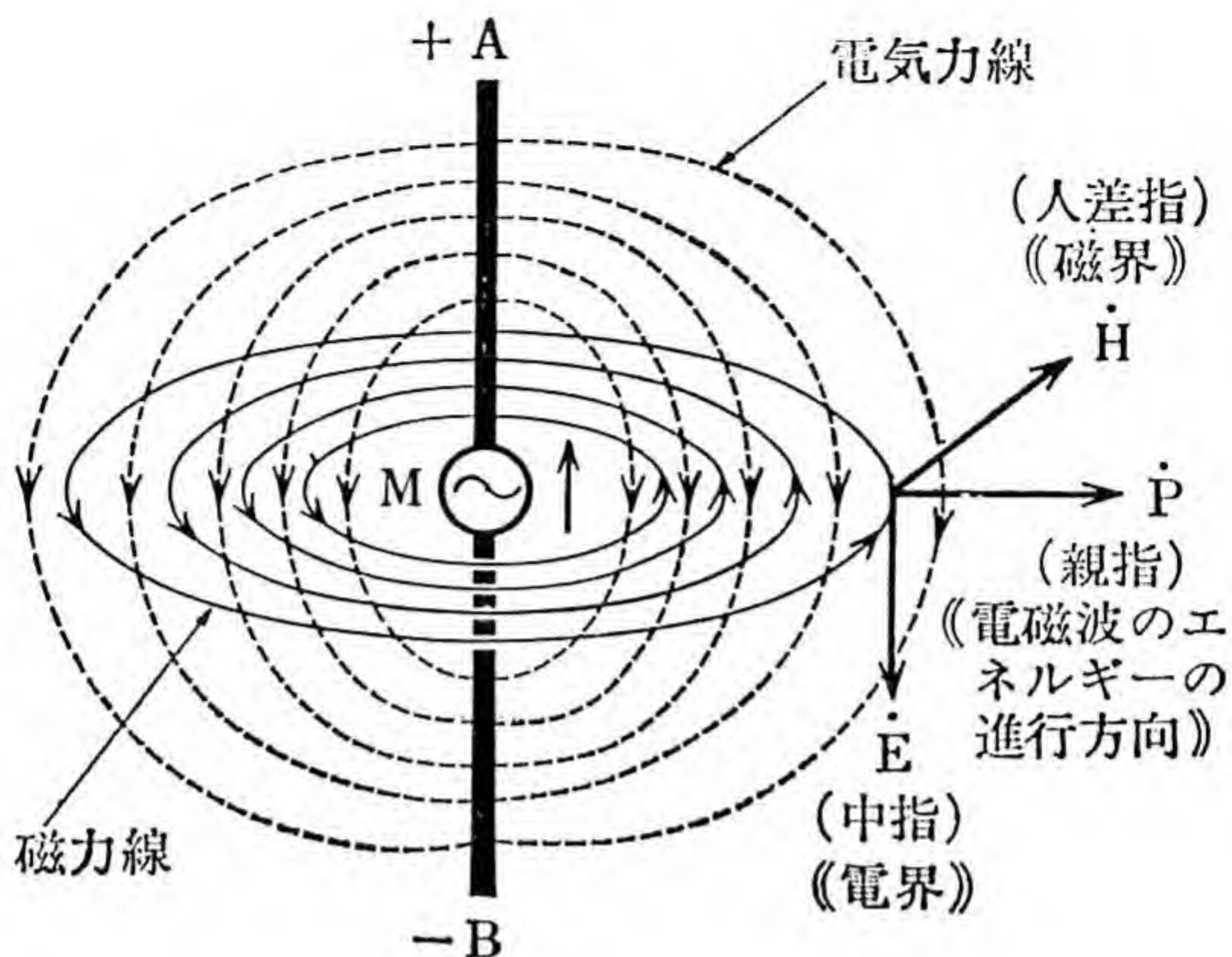
彼は若い頃から〝ファラデーの思想〟に心を引かれていた。ファラデーは目に見えない空間に電界や磁界を表現するために電気力線や磁力線を仮想した。しかし、マクスウェルは、これらの〝仮想の線〟が、単に電界や磁界の表現手段ではなく、実在する何かであるかも知れないと考えていたのである。

そのうちに彼の頭の中には「弾性体」の力とひずみの関係が浮かんできた。つまり、ゴムのかたまりを強く押すと、各部に圧縮力が伝わって分布し、その応力に応じて各部にひずみを生ずるということである。

目には見えないが、電気的なひずみが空間の中にあるに違いない。そして、それに応じて時間と共に変化するひずみ電流（変位電流）があるだろう。

ひずみ電流があれば、これが電流である限り、必ず磁気作用があるだろう。

さらに磁気作用があれば、再び空間に何らかの電流を誘発し、電界がそれに伴って現われるだろう。

彼は、このように、空間の中に「卵とにわとり」のような因果関係があり、あたかも弾性体中を弾性波が伝わるように、電気磁気の媒質中を電磁波が伝わるのだろう、と考えついたのであ

○これは高周波電源Mに接続されている直線導体AB に高周波電流が流れているある瞬間を示す
○導体上の電流は下から上へ流れる
これは電源Mにあった互いに等量の電荷⊕と⊖がそれぞれAとBに向かっているのに相当する
○だから電気力線は，図のように上から下へ向かって生ずる
○また磁力線は〝右ねじの方向″に生ずる
○このとき，アンテナと平行に電界$\dot{E}$，それに垂直に磁界$\dot{H}$ができるので，「フレミングの左手の法則」により，親指の方向，つまりアンテナから外側の方向に電磁波のエネルギーが進行することがわかる

直線導体に流れる電流の作る磁界と電界

る。

彼の推理は、ヘルツや、後になって電波を電信に応用したイタリーのマルコーニによって実証された。

放射電界と放射磁界

一つの導体を流れる電流が急速に変化すると、その周囲の電界や磁界も、それに対応して変化する。

電界や磁界は同一場所で変化しているのではなく、ちょうど〝振動している金属棒から音波が周囲に伝わって行くように〟その変化は四方八方に伝わる。ただし、電波は横波であり、音波は立て波である。

この伝わって行く〝電磁界の振動〟が、電磁波である。

したがって、電波を発生させるためには、何かの方法によって、導体内に電流の変化を起こさねばならないし、電流の増減に打ち勝って仕事をするエネルギーを供給しなければならない。

供給されるエネルギーの一部は導体内で熱損失となって消費されるが、大部分は電磁界のエネルギーに変わり、電磁波となって空間に伝わって行くのである。

ここでこのような放射電磁界は、これまで本書で考えて来た現象とどのように違うかをたしか

媒　質　論

空間の媒質を仲立ちとして、Ⓐから Ⓑへある速度でエネルギーが伝わる、バケツリレーのようなもの

遠　達　論

空間の媒質とは無関係にⒶからⒷへ瞬間的に伝わる。Ⓐがバケツの水を下へおくと、その気配で瞬間にⒷがバケツをとりあげるようなもの。バケツの水は瞬間的にⒶからⒷへ伝わったことになる

電波の伝わり方

めておかねばならない。

まず放射電磁界は、一般交流電磁界のうちの特別の場合である。

それは、コンデンサーに低周波の電圧を加えたときにその中に生ずる交流電界や、インダクタンスに低周波の電流を流したときに、その周辺に生ずる交流磁界とは大分ようすが違う（つまり先述のコンデンサーの両端をうんとはなして行くたとえは厳密には正しくない）。

交流電磁界の強さは一般に距離の二乗や三乗に反比例して減衰するので、あまり遠方には届かない。一方放射電磁界の強さは、真空中では距離にほぼ反比例して減衰するのでその到達距離ははるかに大きい。

ところで、電波の話をするまでは真空中

記号	名称	波長	慣用周波数	用途
VLF	長波	3000m以上	100 kHz 以下	現在あまり用いない
LF	中波	200～3000m	100～1500 kHz	国内放送，近距離通信
MF	中短波	50～ 200m	1.5～ 6 MHz	
HF	短波	10～ 50m	6～30 MHz	海外放送，遠距離通信
VHF	超短波	1～ 10m	30～300 MHz	テレビ，FM放送，個人通信等
UHF	極超短波	1m以下	300 MHz 以上	テレビ，レーダー，マイクロ波通信
SHF	センチメートル波	10cm以下	3000 MHz 以上	
EHF	ミリメートル波	1cm以下	30000 MHz 以上	その他用

電波の種類

の媒質のことについて何もふれなかった。つまり、真空は当然何もない空間だとしてきたのである。

しかし、電波の伝播の話になってから、ファラデーやマクスウェルの考えた空間媒質論ができた。

「一体真空の中に何があるのか」

「何もなくて、何かある」

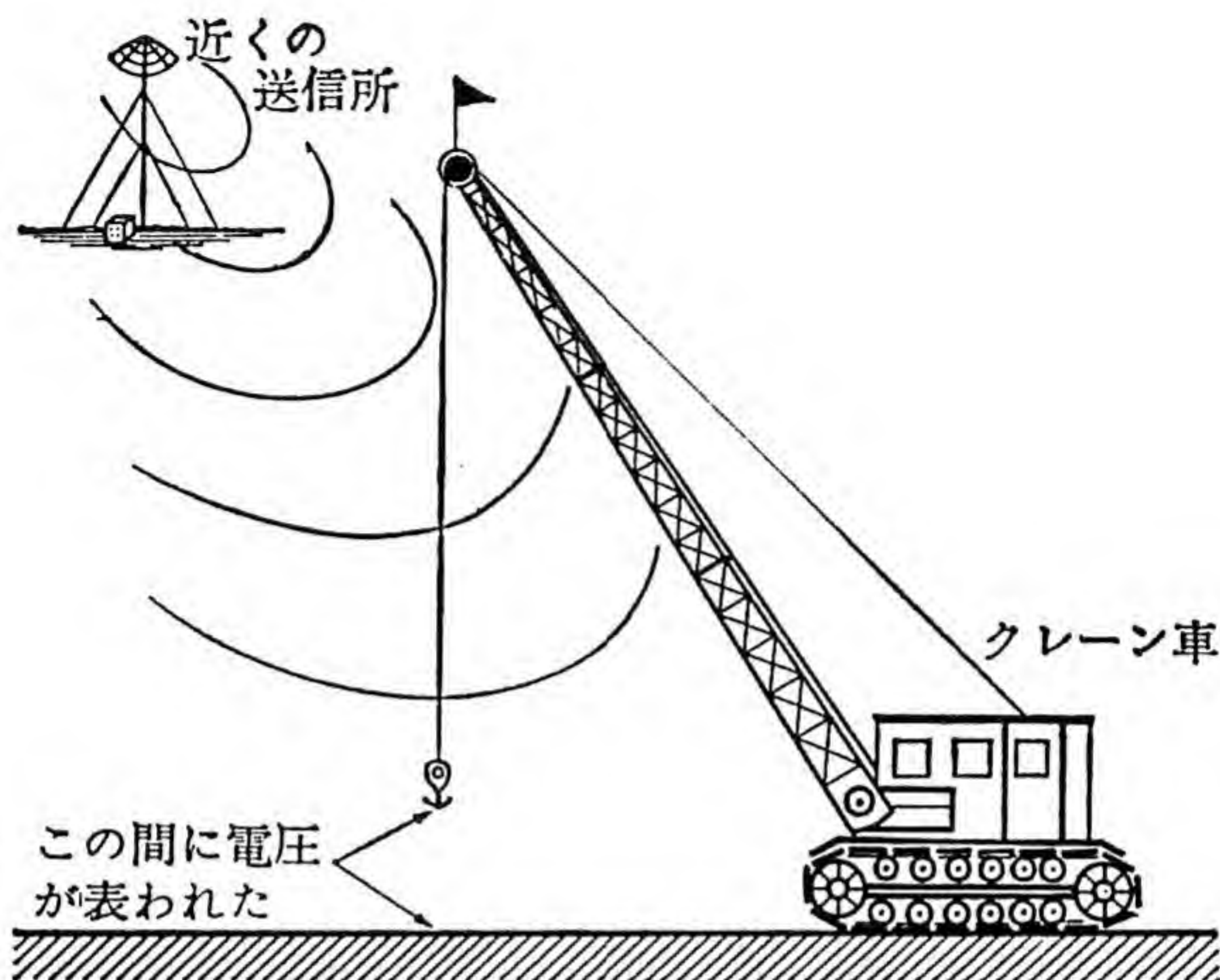
これではまるで禅問答である。

こうなれば、昔の人が空間に「エーテル」や「ジェリー」が充満していると仮定したのも無理はない。

この二つの説明（空間の媒質が無か有か）は、現在でも電気理論を定性的にわかりやすく、数学にたよらずに説明する場合のネックなのである。

しかし、われわれはともかく、電界も磁界も、空間そのものの性質の変化だと考えよう。

電波のラッシュ

世の中は電波が充満している。必要な電波やじゃまになる雑音電波など、周囲は「電波の洪水」である。幸いなことに人間の肉体は、普通の状態では容易に電波を感じない。
コロナや火花放電やその他目に見えない形でも、何かの拍子で高周波電流が流れると、空間には必ず電波が出る。
もし、世の中が直流ばかりで、それが電池のような静的な発電装置で発電され、しかもそれを開閉せず、電熱器のような固体抵抗体によって送電しているならば、電波は出ないはずである。
しかし、現実はそうではなくて、必ずスイッチを入れ切りするし、けい光灯は使うし、回転型の発電機を使うし、送電線のがいしからは多少のコロナはいつも出ている。
自動車のエンジンの点火装置の火花、電気バリカンなどの整流子モーターの火花……それこそ一々考えるとノイローゼになるほど電波源はたくさんある。
雷の放電はもちろん雑音電波の元凶である。
たとえ地球が一切の電波をなくしても、太陽や、ラジオ星から出る外来電波も多いのである。
このように電波がますます増えて行く一方、テレビやラジオなどのプログラムも増えて来る。海一つ越えた隣国の送信所から、一〇〇〇キロワットもの強力な電波が、われわれの希望するプログラムの周波数のすぐ近くに、いやおうなしに飛び込んで来る。
全くひどい混信である。

ラジオ電波を受けたクレーン

試みに短波ラジオセットで九〜一〇メガヘルツ付近を探って見るがよい。びっしりと、海外の強力な電波がつまっている。間にはさまった日本の海外放送も苦しそうだ。

短波受信はなかなか同調がむずかしいので、少なくとも微調整ができ、三〇キロヘルツぐらいの差を容易に調整できるものが欲しい。

このように〝混信と雑音〟という公害の仲間がまた増えたのである。

だから、われわれはできるだけ雑音電波を出さず、また吸収しないように工夫するほかはない。

肉体に感ずる公害もある。

少し前になるが、沖縄の米軍の強力な送

信所のアンテナの近くで、立てかけてあったトタンにさわった人が電気を感じたという話が新聞に掲載された。

日本でも、ラジオの送信所のすぐ近くで、六〇メートルの高さのクレーンで鉄塔を組み立てていたとき、地上でクレーンの先のロープにさわった人が、電気を感じたという話がある。これは、ラジオの電波をクレーンが受け、クレーンとロープによって、一回巻きの受信コイルを形成したためであろう。

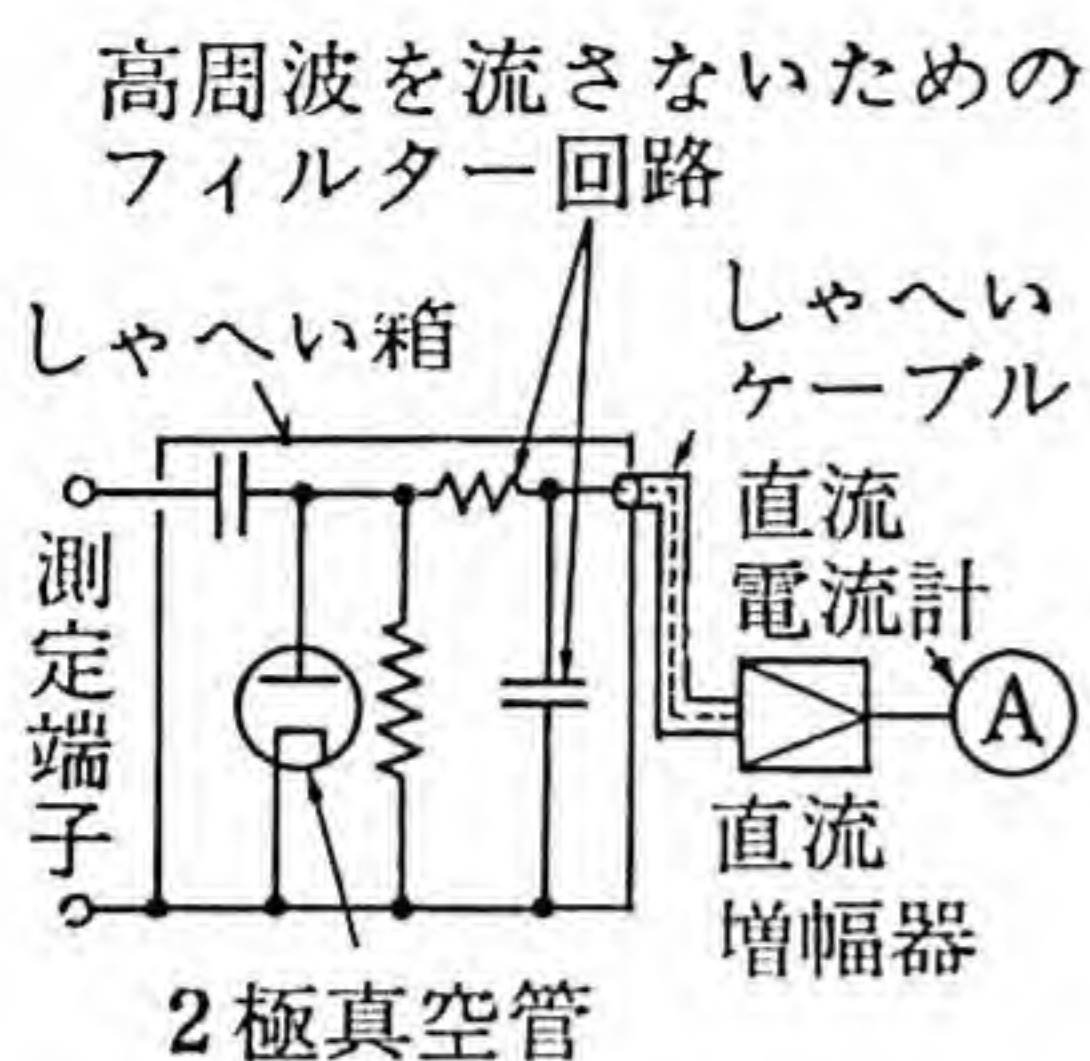
このように、電波が強くなると、電気のエネルギーは小さいが、相当電圧が高くなる現象が方々で出てくる。

対策として、アース（接地）を十分に施すことが必要である。

一〇〇〇キロワットの送信所の電波の強さをごく大ざっぱに言い表わすならば、アンテナから一キロメートルはなれて、二〜三ミリメートル直径の電線を直径一メートルで五回巻いて、同調が保たれれば、一〇〇ボルト近くの電圧ができるそうだ。

そのほか、無線通信の電波がテレビの像を乱すという被害もあるようだ。

電話がちょっと横道にそれるが、先ほどのクレーンのロープの電圧はテスターでは測れない。電圧は高いが電力は微弱なので、テスターを当てると電流を食われて電圧が下がってしまう。

なぜなら結局、テスターのメーターそのものは一つの電流計である。電圧を測るとはいって

も、実は電流をよむことになる。この場合、オームの法則（電圧＝電流×抵抗）によって、抵抗値が知れていれば電流の値から電圧がわかるわけである。

テスターには比較的高い抵抗体が入っており、そこに流れるわずかな電流をよみとる。したがって、測る対象の電気エネルギーの値そのものが小さいときは、テスターそのものにエネルギーが食われ、電圧が下がってしまう。

このように、ふつうのテスターで測れない電圧もかなりある。電子回路とか、極端に消耗した電池の電圧を正確によむときも、同じことである。

しかし、わずかな電流で電圧をキャッチするためには「真空管電圧計」を使えばよい。

これは真空管の整流作用を利用し、これと直流電流計を組み合わせて、交流や直流の電圧を測るようにしたものである。

この装置の特長は、入力インピーダンスが高いので、吸収電力（電圧をはかるのに必要な電力）が少ないこと、五〇〇メガヘルツという高周波まで測れるということである。普通のテスターでは、周波数の高い高周波は測れない。

P形真空管電圧計

電波の吸収

電波は、大気中の気体や浮遊水滴（霧、雨、雪など）によって吸収され、減衰が大きくなる。
また野や山や、森や林や、ビルや鉄塔やアンテナなど、地上の至る所で吸収される。
放送局のアンテナから放射されて行く電波のエネルギーの大部分は、このように無駄に吸収され、本当に電波の欲しいアンテナで有効に受信されるのは、全体のほんのわずかである。
前述のように、ごく大ざっぱに考えると、放送局のアンテナと、受信側のアンテナとは、長い距離をへだてて磁気的に結合された変圧器にたとえることも出来る。しかし、変圧器は、鉄心を介してコイル同士が組み合っているので、電源から入った電気エネルギーはわずかの損失で有効に負荷側に出て行く。一方、アンテナ同士は、放送局が一ヵ所でも受信側は〝無数のアンテナ〟のうちの一つにすぎず、またきびしい自然にさらされた空間をへだてている。考えればひどく能率のわるい話で、放送の宿命とはいえ、そこが送信側にとってつらい所で、最近は送信出力を大きくするケースが多い。
電波はまた金属によって反射させられる。
第二次大戦中、アメリカの爆撃機は、レーダーの電波をかき乱すため、日本の空に沢山のアルミニウムの箔をまいたものだ。
ジェット機の離陸時に、テレビの像が乱れるのもこの現象である。
電波は大気中の気体や浮遊水滴（霧、雨、雪など）によって吸収、散乱され、減衰が大きくなる。

電波の利用

電波の利用は無限にある。しかしその基本は案外共通している。まず指向性がある。

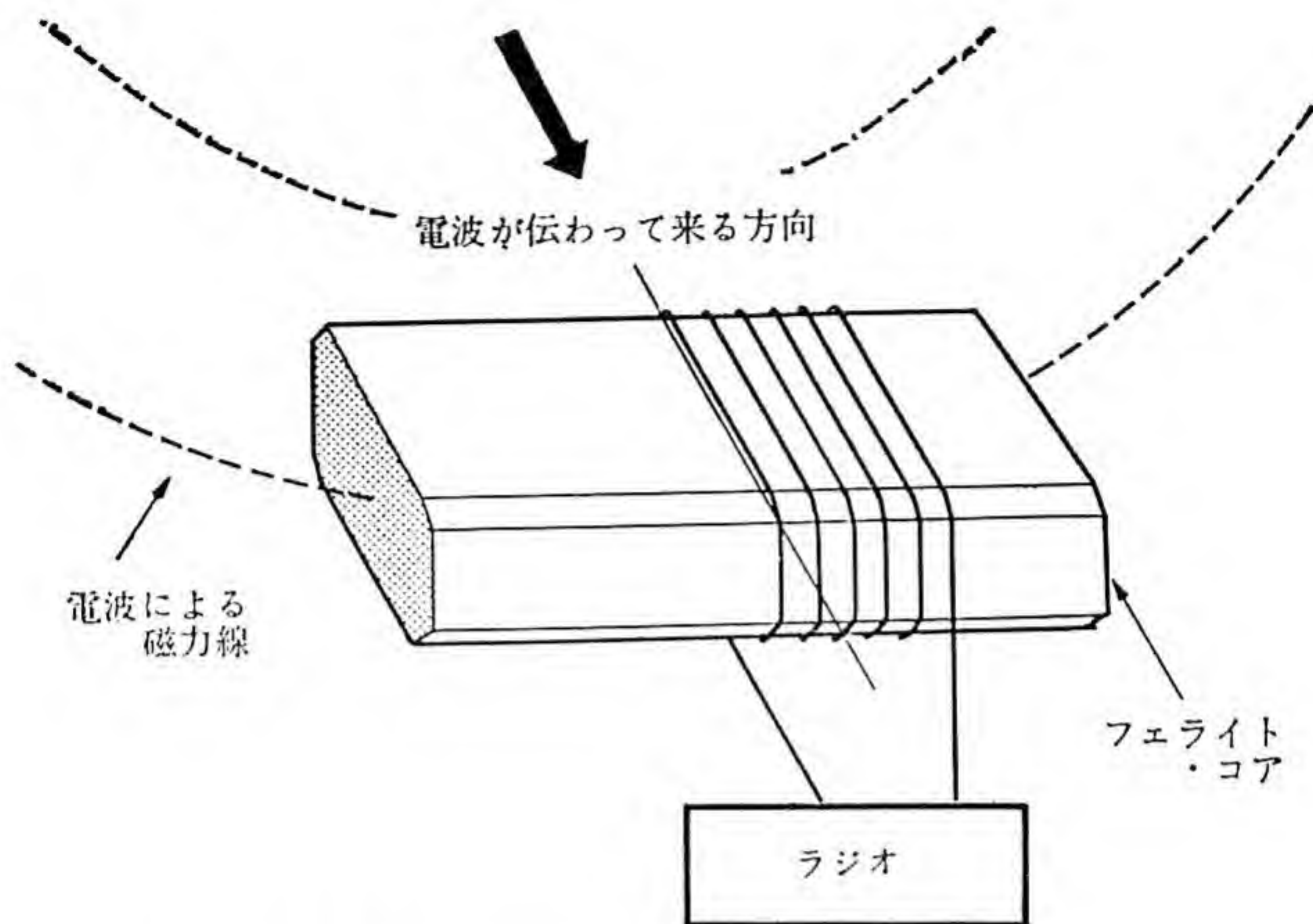
アンテナには電波の放射の向き（指向性）がある。

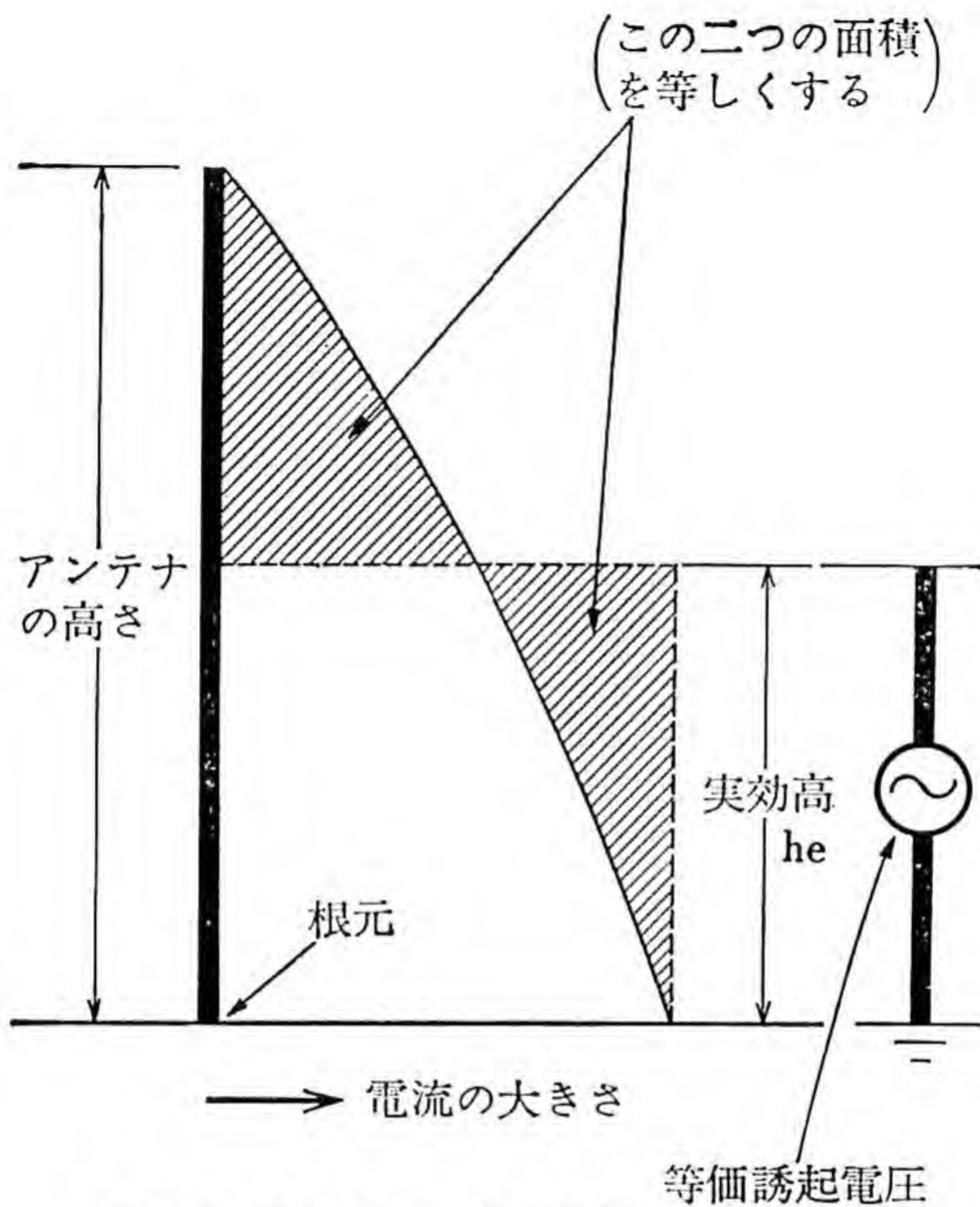
海外向けの短波放送には、それぞれの目的に向けてかなり強い指向性がある。そのため、目的の国で聞こえても、近距離の日本でかえって聞こえないことがある。

中波では指向性がかなり問題になることがある。特に次ページの図のようなフェライト・コア・アンテナは原理上かなりの指向性があり、この特性を利用して送信所の位置を知ることができる。それにはチューニング・メーター（同調メーター）のかなり大きいものが望ましい。

まず手動利得調節に切り換え、中波を選び、選局つまみを回し、チューニング・メーターを見ながら、その針が最も大きく振れるように同調する。

次にセットを静かに水平に回す。そして、針のふれが最も小さくなったときのフェライト・コア・アンテナの長手の方向が、目標の送信所の方向である。

なお、電波があまり強いときは、わざとラジオの感度を下げる必要がある。また普通のラジオは自動利得調節装置（AGC）がついているが、方向探知に使うためには手動（MGC）に切り換

フェライト・コア。矢印のように電波が伝わって
くると感度が一番大きい

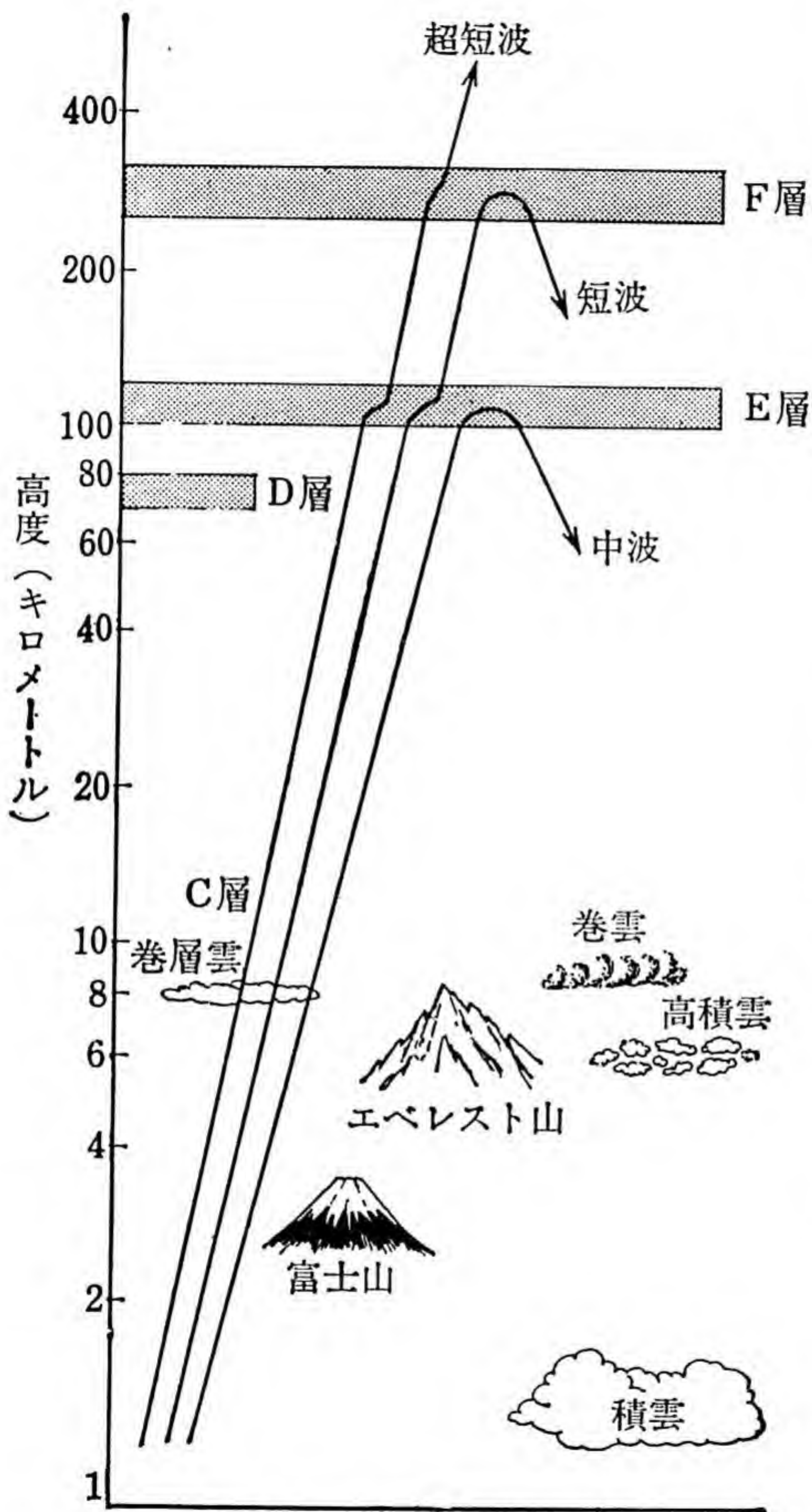
えられるものでなければならない。
なお、フェライト・コア・アンテナとは、ほとんどのポータブル・ラジオに内蔵されているもので、フェライト・コア（一種の圧粉コア）の上にコイルを巻いたものである。手をふれてもあまり感度が変わらない利点もある。
次は感度。
感度とは、ラジオ受信機がどの程度まで弱い電波を感受できるかという能力を表わす尺度で、普通五〇ミリワットの出力を出すのに必要な最小の「アンテナ入力電圧」（マイクロボルト、またはミリボルト）で表わされる。
なお、アンテナの「実効高」によって感度が変わるので実効高一メートルあたりの

$E = eh_e$ (マイクロボルト)

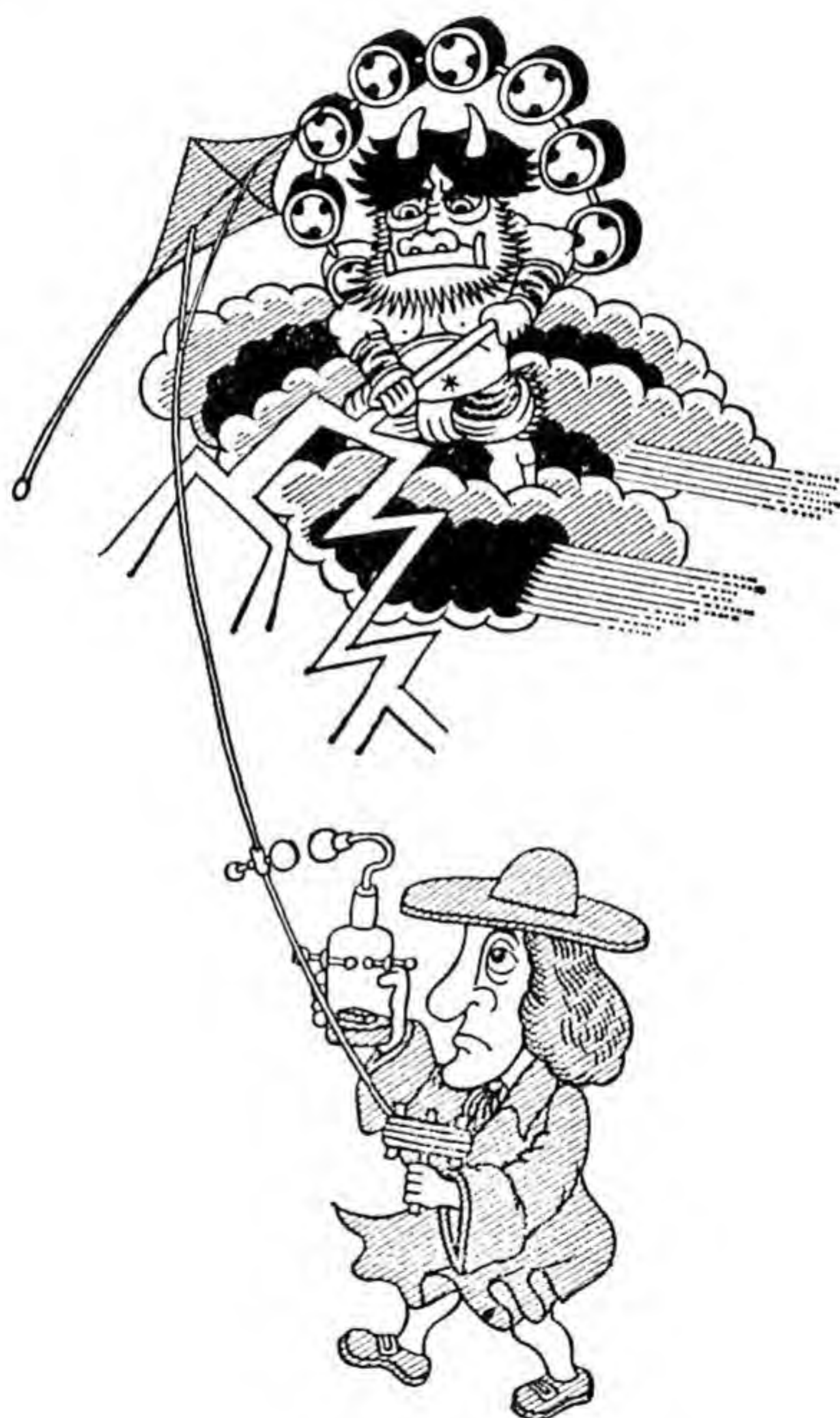
(e:電界強度　マイクロボルト/メートル)

図のような垂直アンテナで、放送電波を受信する場合、アンテナ各部の電流は上部へ行くほど小さくなる。そこで根元の電流と同じ大きさの電流が流れる等価な高さを考え、それを「実効長」(he)と呼ぶ

アンテナの実効高

受信可能電界強度で示した方が一般に便利である。
実効高とは、前ページの図のように〝アンテナの基部の電流と同じ大きさの電流が流れる等価な高さ〟で示す。
アンテナに流れる高周波電流は、電波によってアンテナの各部に高周波電圧が誘起されるために流れる。アンテナに流れる電流は、各部の誘起電圧によって流れる電流の総和である。従って、その電流の分布状況は、普通の回路のように各部一様ではなく、先端は〝零〟で、基部に行くに従って増える。
だから受信アンテナとしての効果を考える場合には、実効高を用いると便利である。
さらに電波の伝わり方の問題がある。
電波の伝わるルートには地表波と反射波とがある。光と同様に電波は直進するから、もし地球の周囲に何も反射面がなければ、地球は丸いから電波はどこかへ行ってしまう。
そこはよくしたもので、図のように地球の上部にはちゃんとした電波の鏡（電離層）がある。
上層大気を形作る空気中の窒素と酸素は、太陽の紫外線や放射線を受けて、自由電子と残った原子であるプラス・イオンになる（電離する）。
この自由電子は〝熱運動〟をするうちに、再びイオンとしてもとの原子に結合したり、中性の分子や原子にくっついて、マイナス・イオンを形成したりする。これが上空の「電離層」であ

る。
大気は高度によって気体の種類や密度が異なり、気体の吸収する放射線の波長も異なるので、電離、消滅の割合が一定でなく、ある高さに自由電子が集まることになる。

電離層F層は太陽活動の小さいとき，昼間，
F_2 F_1の上下層にわかれる

7　電気のトラブル

異常電圧

人間生活と同様に、電気の世界もいつも平和とは限らない。。大ていはどこかで波が立ち、それがあちこちに押しかける。

電圧が規定より急に上がることがある。雷のように大きなショックが加わるときもある。平常は関係のない所から、おせっかいやきが、誘導電圧を持ち込んでくるときもある。

電力会社は、いつ、このような異常電圧が来るかわからないので、絶えず警戒態勢にある。あらゆるトラブルを予想して日頃から対策に大わらわである。

中でも一番問題になるのは絶縁の強さである。たとえば七七キロボルトの回路に七七キロボルトの電圧がかかっているのはおとなしいときだけで、一たん非常事態になれば、はるかに高い電圧が飛び込んでくる。そのいつ来るかわからない高い電圧に対して、強い絶縁が設計されているのである。

人間社会、たとえば家庭や会社のトラブルは、その原因が外部にあるときと内部にあるときがある。

電気の世界でも同様で、外部のトラブルの代表格は「雷」である。雷は電気系統の大敵で、これが直接落ちたら大ていの機械はやられてしまう。相手が〝電気の親玉〟だから始末がわるい。

内部のトラブルでは、スイッチを開閉したり、線路が故障で「アース」したときの異常電圧や、負荷が急減したときの発電機電圧の上昇などがある。

以下、これらについて順に説明しよう。

フランクリンの奇跡

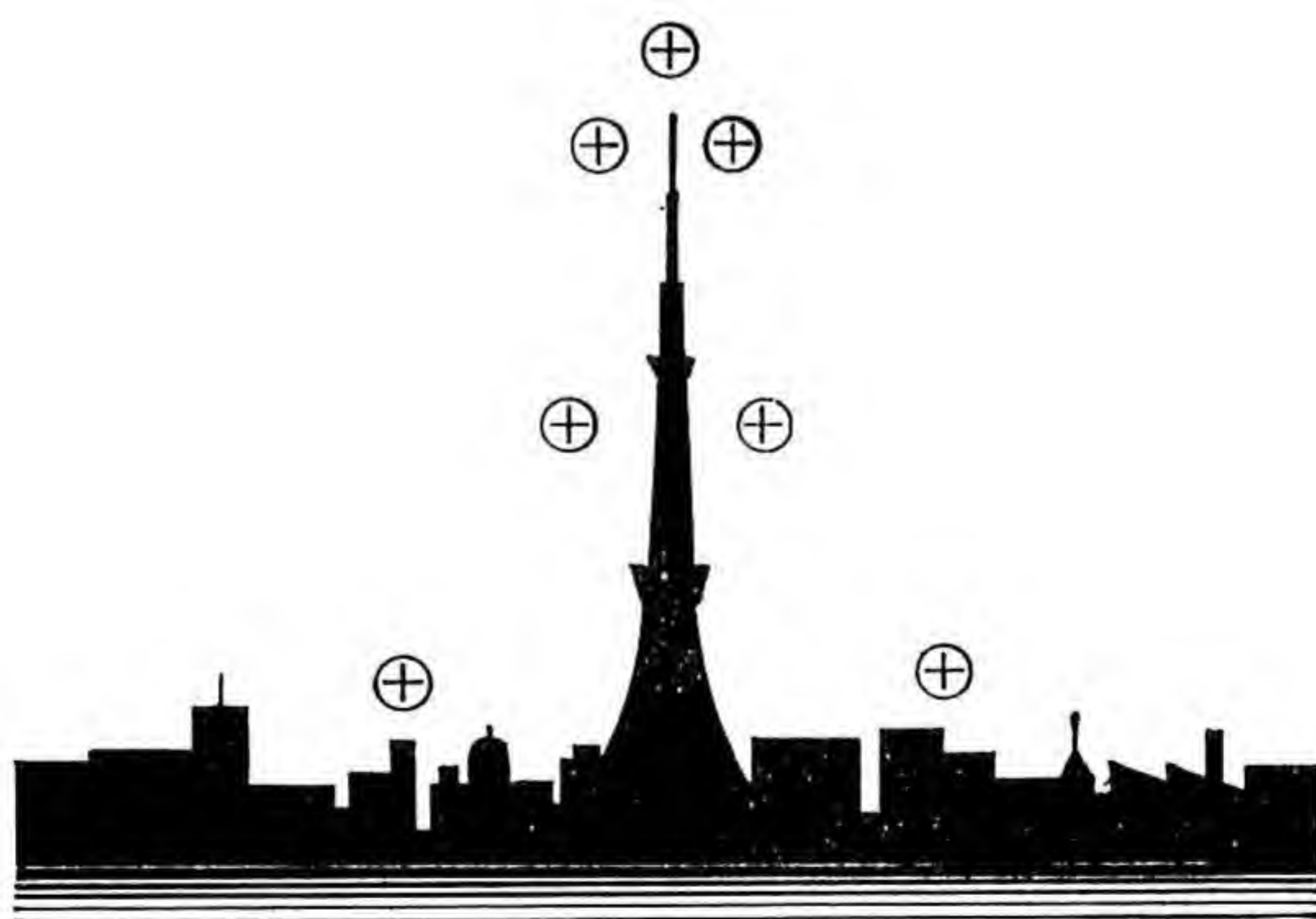
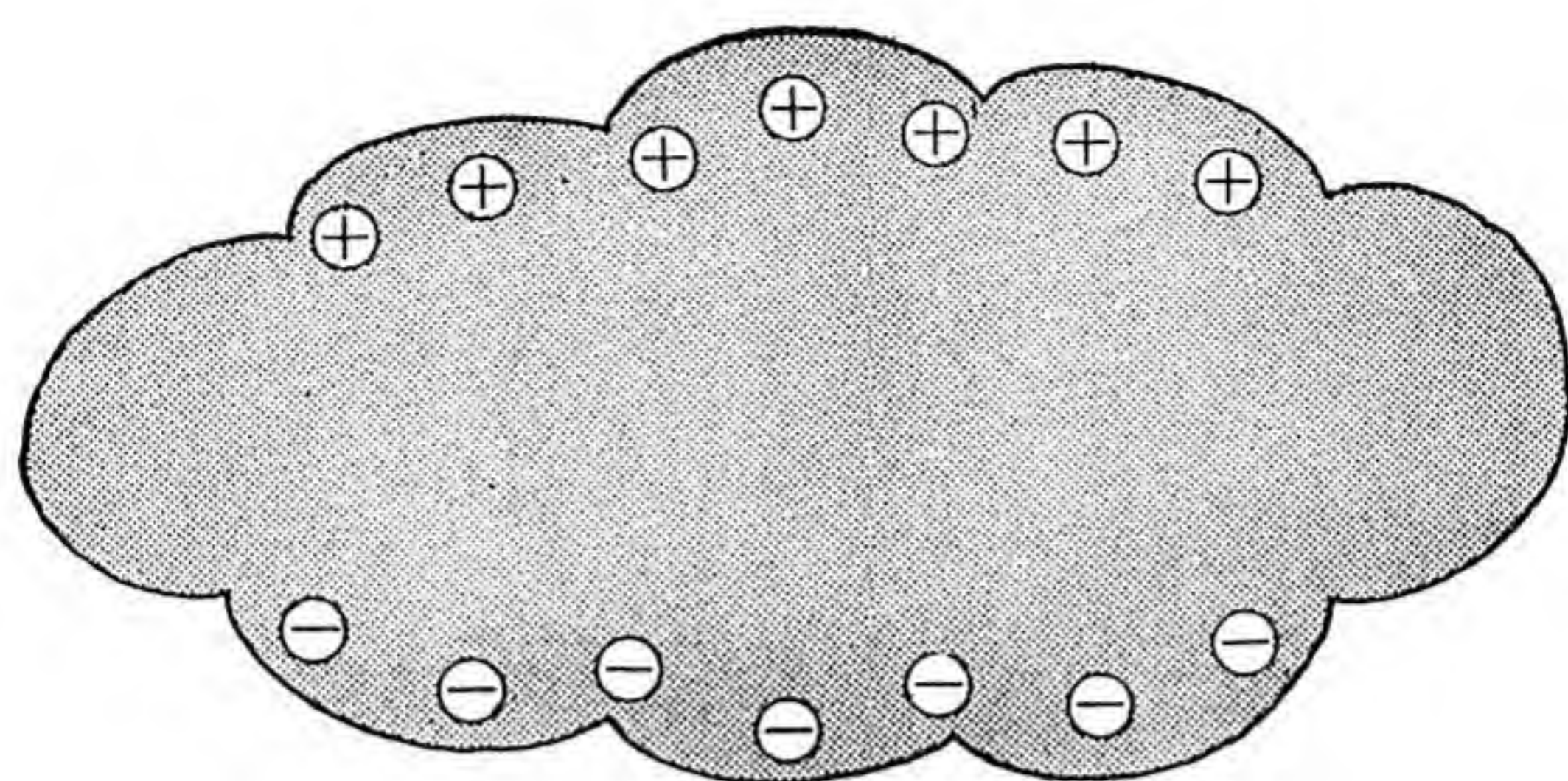
科学好きの小学生から、フランクリンの雷の実験の説明をさせられるときほど、困ることはない。アメリカの有能な政治家であり科学者であったフランクリンが、雷雨の中をぬれたたこひもをつけたたこを上げ、その電気をライデン瓶に静電気としてためるのに成功したこの有名すぎる実験は、科学の基礎は実験であることを如実に示している。

また科学には勇気が必要なことも示している。

しかし、それがあまりにも危険だということは、その後彼のまねをした何人かが死亡していることからも分かる。

ジェンナーが子供に種痘の実験をしたのと同様に、フランクリンの実験は当時だからこそできたのだと話すほかはなさそうだ。

さて、雷は静電気のかたまりである。

今日、全世界で一年間に約 16×10^6 回の雷雨が発生し、毎秒約一〇〇回の雷放電が生じている

雷の静電誘導

年間雷雨日数 ＼ 区　　分	30日	20日	10日
平たんな場所に立つ高さ30メートルの塔。100メートル四方の平たんな区域	13〜26年に1回落雷	20〜39年に1回落雷	39〜78年に1回落雷
平たんな場所に立つ高さ20メートルの塔。70メートル四方の平たんな区域。	30〜60年に1回落雷	45〜90年に1回落雷	90〜180年に1回落雷
平たんな場所に立つ高さ10メートルの塔。35メートル四方の平たんな区域	120〜240年に1回落雷	180〜360年に1回落雷	360〜720年に1回落雷

落雷の可能性の推定

そうだ。

雷のうち、最も規模の大きいものは、夏季に大きな上昇気流がまさつ電気を起こす熱雷である。雷の原因としては〝霧氷の生成による帯電説〟が最も有名で、低温の氷晶と比較的温度の高い霧氷とが接触分離するときに、導電率の大きい霧氷から小さい氷晶に陽子（プロトン）が移動し、低温の氷晶はプラスに、高温の霧氷はマイナスに帯電するらしい。

熱雷は統計的に一四時から一六時の間に最も起こりやすい。またその発生の多少は、日本の中でも統計的にきまっている。一年間の雷雨発生回数三〇以上が特に要注意である。

北陸地方を中心とした日本海沿岸で冬季

によく起こる界雷もある。これは寒暖両気団が互いに接する所で発生する上昇気流により発雷し、一〇〇〇〜二〇〇〇メートル位の上空でよく起こる。昭和四十四年二月八日金沢市上空で航空自衛隊のF一〇四Jジェット戦闘機が墜落したのは、界雷によるものである。

雷はなぜ落ちるか。実は落ちるというのは雷雲の電気によって、それの下方の地面に反対の極性の電気が誘導され、いわば大きなコンデンサーとなり、その間の空気の絶縁が、たまった静電気の電圧に耐えられなくなって、火花放電する現象である。

このように、たとえばA物質のプラスの電気によって、B物質のA側がマイナスになり、反対側がプラスになる現象を「静電誘導」と言う。

これも異性の接近力がもとである。

先述のまさつ電気と、この静電誘導とが、静電気を導く二つの方法である。

なお、一般に落雷の約九〇パーセントまではマイナスである。

また雷の電圧を実測することはむずかしいが、大体一〇〇万ボルト以上である。なぜむずかしいかと言うと、送電線などに落ちた雷はがいしがパンクして地面に逃げるので、その電圧は送電線の使用電圧に応じて用いられているがいしのパンク電圧まで急激に下がるからだ。

一方、雷撃の電流は簡単に実測できる。統計では平均して一〇〜二〇キロアンペアで、日本では最大二四〇キロアンペア、ポーランドでは五一五キロアンペアの実測例がある。

何れにしても、放電時間はごく短く、約五〇マイクロ秒以下である。だからエネルギーそのものは非常に小さいから、われわれが使用できるオーダーではない。

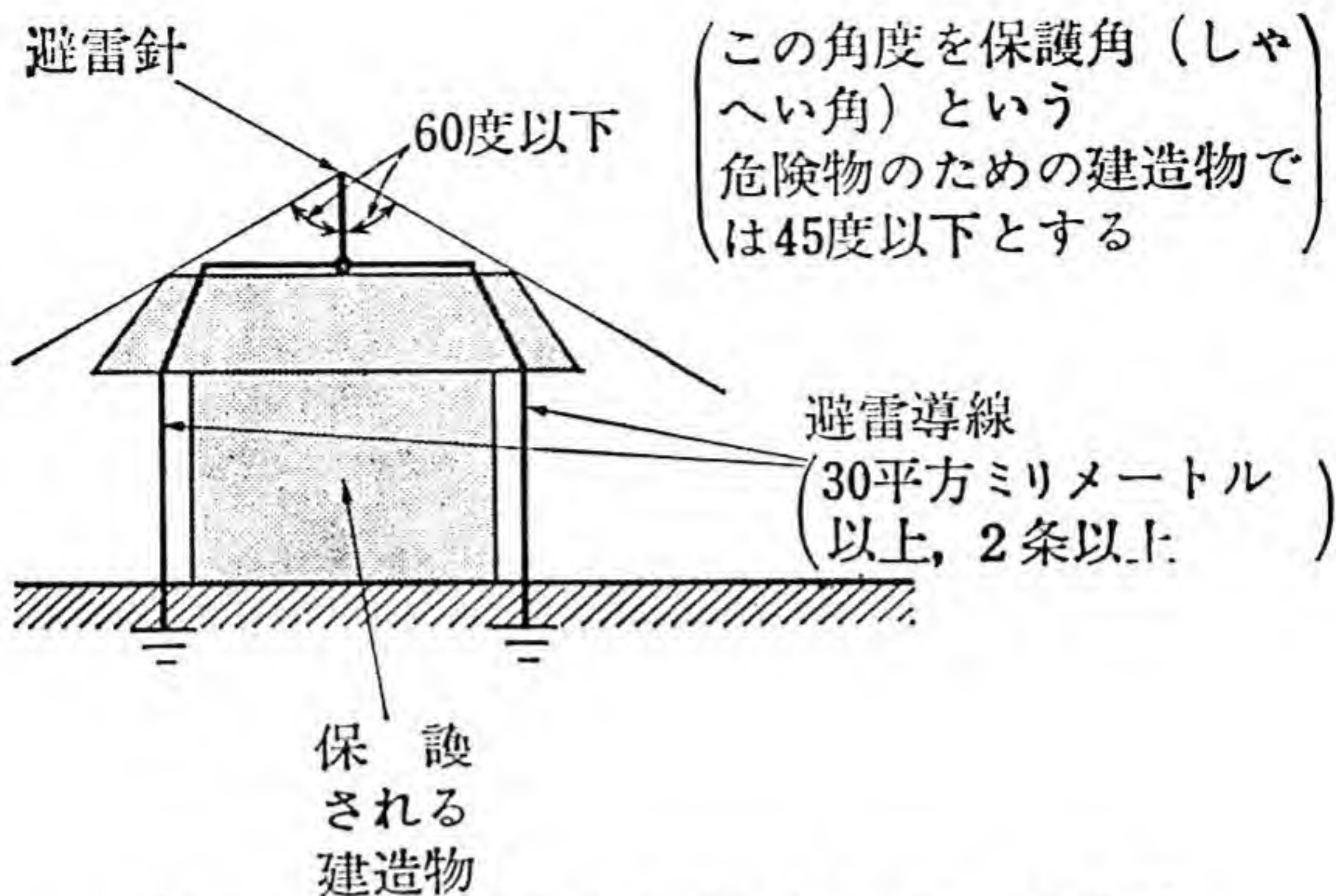
雷を防ぐ方法

雷を防ぐことは相手が相手だけに不可能だといってよい。だから正確には〝雷から安全に逃れる方法〟である。

昭和四十二年八月二日午後一時すぎ、北アルプス西穂高岳独標（標高二六四〇メートル）近くで、峯伝いに登山していた高校生が雷を受けて即死した。

松本県立松本深志高校の四八人中、一瞬のうちに八人が雷の直撃を受けたのである。八人即死、三人行方不明（その後、死体となって発見）、一〇人が重軽傷だった。

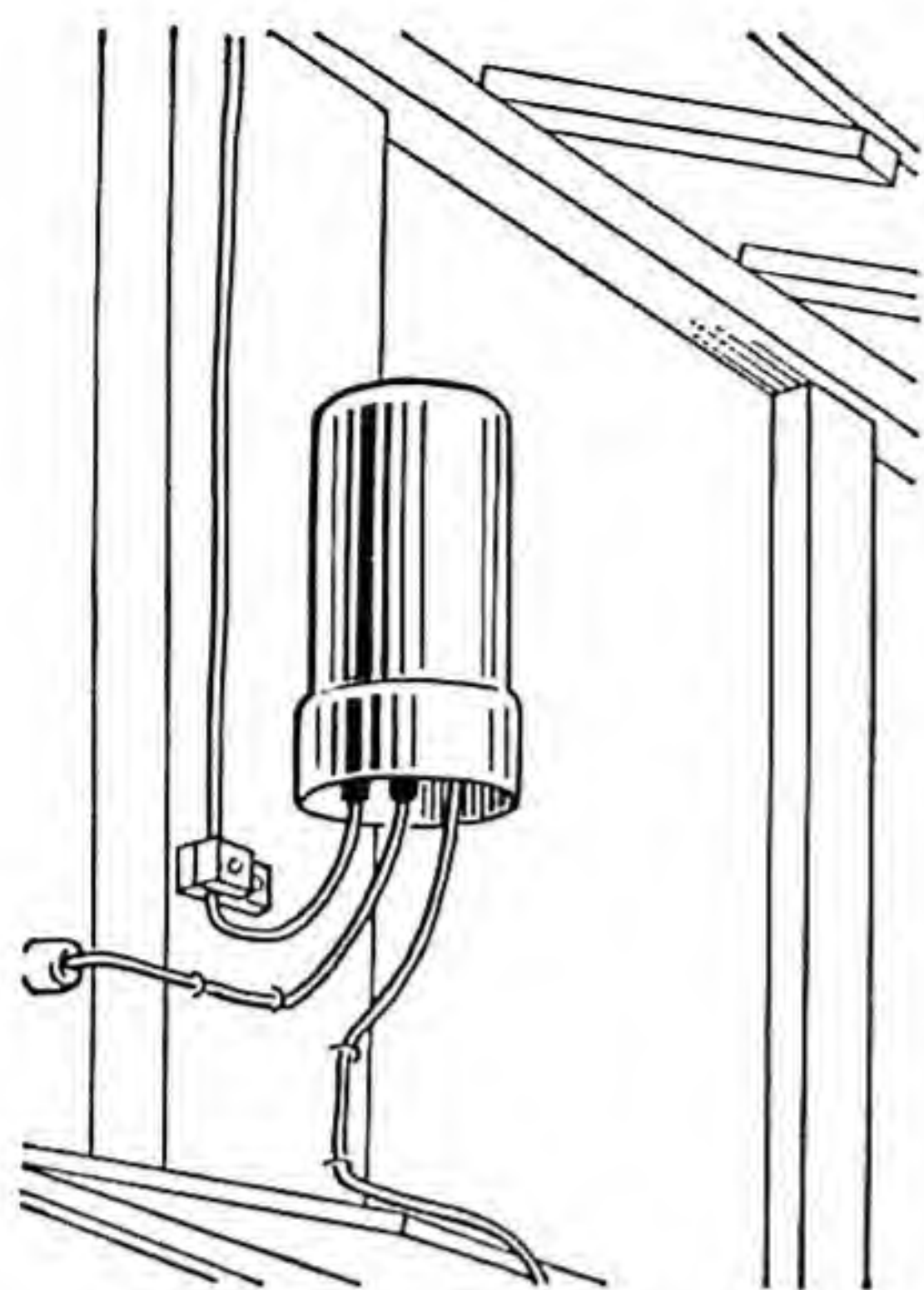
この日、西穂高一帯は、正午すぎから、あずき大のひょうまじりの激しい雷雨になった。大音響と稲光が同時だった。引率の先生が振り返ったとき、生徒たちはすでに山肌に横たわっていたという。

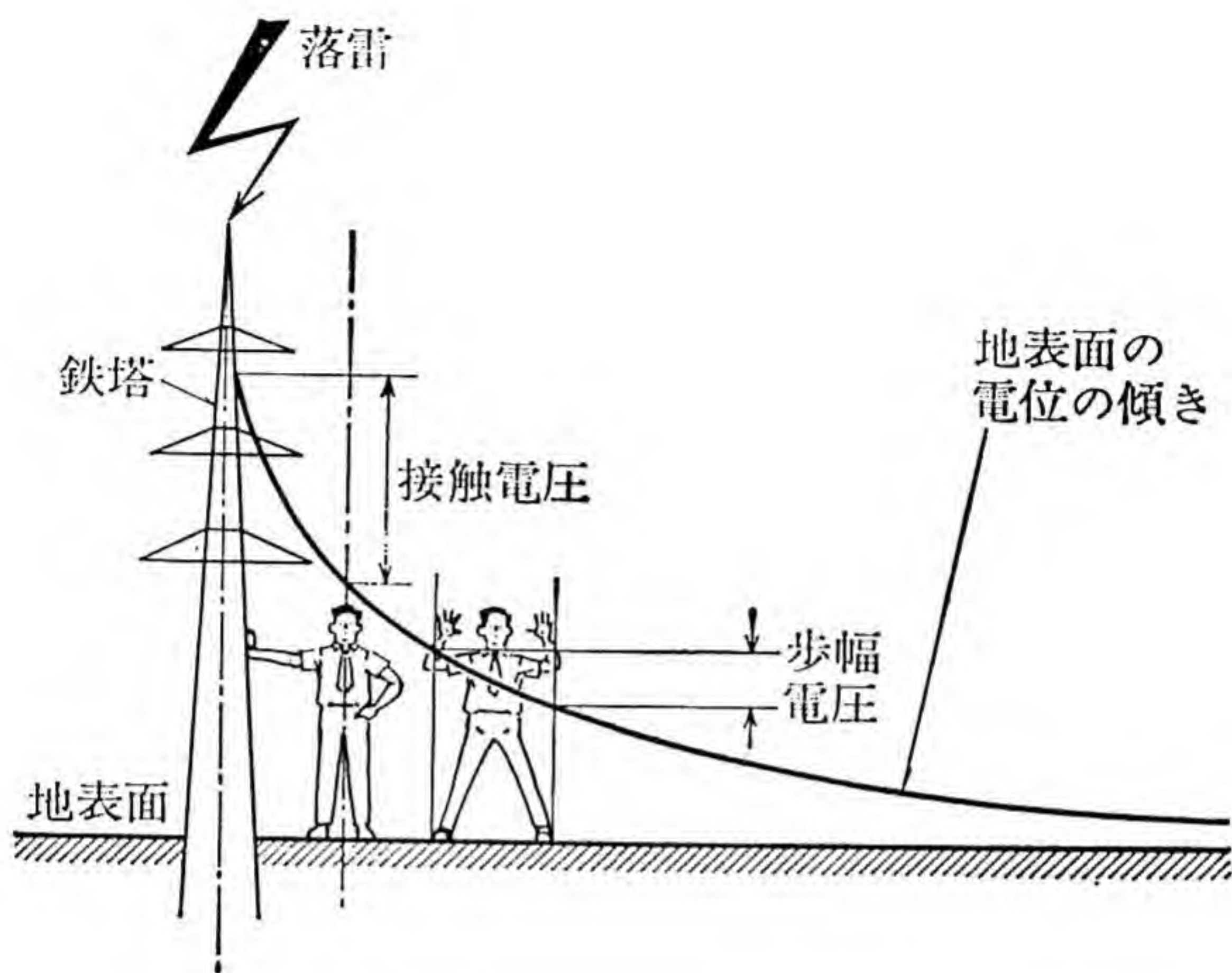
この不幸なできごとは、雷はまず地上の突起物に落ちる確率が断然高いという原則を示している。逆に考えれば、われわれが雷から逃れる第一の方法は、避雷針や鉄塔やビルや立木など……とにかく少しでも高い所に、雷に〝落ちて頂く〟ことである。

避雷針。接地抵抗は1箇所当たり20オーム以下。
避雷針の総分接地抵抗は10オーム以下

統計的にも高所への落雷が圧倒的に多い。落雷は雷雲とそれに近い突起物との間の空気の絶縁がまず破れて起こるのだから当然である。

避雷針は銅棒製の先端を持ち、雷をそれに導くもので、太い電線でアースしてある。大切なのは保護角、つまりそれより内側だと安全だという角度のとり方であって、実験的に普通の建物では六〇度、危険物倉庫では四五度と決められている。また二〇メートル以上の高さの建物には避雷針は必ずとりつけることになっている。

雷雲が近付いて、雷の先行放電が避雷針に導かれるか、あるいは他へ落ちるかは、いろいろな要因で決まるが、まずこの角度なら大丈夫といえる。

なお、雷が必ずしも高いものに落ちるとは限らない。数年前に、私が京都のある発電所の社宅にいたとき、台所の土間の遠心脱水機のアース線（屋外へ約一メートル引き出し、先を地面に埋めてあった）に落雷し、そこから侵入した雷電

流によってモーターのコイルが焼けたことがある。
電線を伝わって来た雷を防ぐには雷の電流を瞬間に自動的に地面へ逃すような「スイッチ」(避雷器)が使われる。避雷器中を雷電流が流れることによって雷電圧を制限電圧まで下げる。電流が通過し終わると、すぐ元の状態(スイッチを開いた状態)にもどる。
電話の引込口にも避雷器がある。これには真空間で高い電圧が加わると瞬時に放電して地中に流してしまうものがある。
避雷針についての注意を一つ。
避雷針に落ちた雷は電線を伝わって地面に逃げる。そのとき、電線と地面の間の抵抗(接地抵抗)は〝零〟でなく、いくらかはある。そのためオームの法則により電流×抵抗による電圧が起こり、一時的に付近の地面の電位が上がる。
だからあまり近付いても危険だし、ましてアース線をさわるのは大変危険で、その電圧で生命を落とす危険は十分に考えられる。
避雷器や避雷針は「転ばぬ先の杖」のようなものである。

電話の避雷器

雷が落ちると周囲の地面の電圧が上がる

つまり過信は禁物である。

なお雷鳴時に高い木の側にいるのも危険である。木に一たん落ちた雷が次にその側の人間に放電することがあるからだ。

電気の切れ味

子供が無理を言ったときの叱り方はむずかしいものだ。

頭ごなしにやると、いかにも切れ味がよいように見えるが、子供の反発は大きくなる。

甘やかしてなだめると子供は納得するかも知れないが時間がかかり、その間にほかのトラブルが出てくるかも知れない。

その辺の調整が大変である。

一番よいのは、子供が自分で反省して、

自分自身をコントロールすればよいわけだ。他人がカットしようとするから問題が起こる。
以上の二つのことがらは、電気回路をスイッチで開閉するときのこつである。
系統の内部のトラブルは、このやり方で起こる。特に頭ごなしにカットしたときに、異常電圧が出る。これを「開閉サージ」という。
自分で反省する切り方の代表例は「ヒューズ」である。
ヒューズに大きい電流がある時間流れると温度が上がってとける。とけたとき電流はそのまま流れようとするので「火花」や「アーク」が出る。その熱で、ヒューズは余計とける。そしてアークが続かなくなったときに電流が切れるのである。
このように、自分の力で自分を制するやり方を「自力消弧」という。
一方、最近流行の「空気しゃ断器」は、圧縮空気をアークに吹き付ける方法だから、「他力消弧」で、切れ味がよい代わりに開閉サージは出やすい。
交流は一周期に二回、零点を通るから、そのチャンスに電流を切れる。しかし、直流は零にならないから切りにくい。
家庭用のタンブラスイッチは大部分が交流用だ。直流を使うときは、もっとコンタクトのしっかりした、速切りスイッチが必要である。
ヒューズはうまく考えられた一種の自動しゃ断器で、規定の電流の数パーセント増し以下では

○ヒューズを水平にとりつけたとき、定格電流の1.1倍に耐え、溶断時間は次のとおりとする

定格電流	溶断時間	
	1.6倍（1.25倍）の電流を流したとき	2倍の電流を流したとき
30アンペア以下	60分以内	2分以内
30アンペアをこえ60(50)アンペア以下	60分以内	4分以内
60(50)アンペアをこえ100アンペア以下	120分以内	6分以内

○配線用しゃ断器は、定格電流では自動的に動作せず、上表の**太字**のとおりとする

低圧ヒューズと配線用しゃ断器の規格

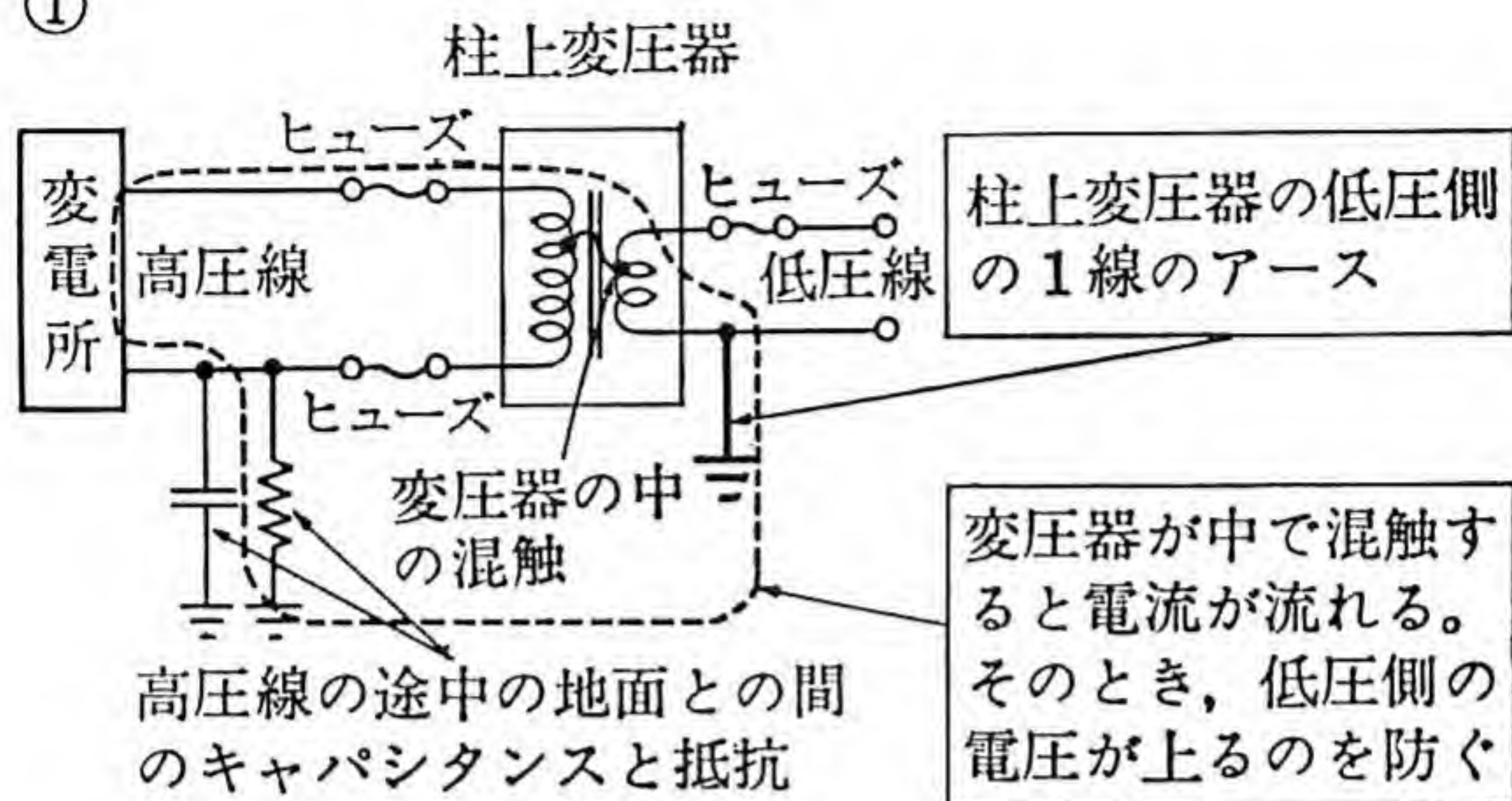
とけず、何倍かの電流が流れると、数秒または数分以内に溶断する。ヒューズの材料で一番多く用いられるのは、スズ（融点二三二度C）と鉛（融点三二七度C）の合金で、さらに融点の低いヒューズを作る。ヒューズの溶断特性は、基準によって表のとおりきめられている。

必ず板ヒューズやつめ付きヒューズを用い、糸ヒューズをそのままとりつけてはいけない。

配線用しゃ断器はノーヒューズ・ブレーカーともいわれ、最近、ヒューズに代ってよく用いられる。動作が確実で、しゃ断後簡単に閉じることができる。温度ヒューズは周囲温度が一一〇度とか一二〇度になるととけて、電流には関係ない。

アースの話

電気は浮気者でお節介やきだから、地球（地面）につないでおくとよい。これを俗に「アース

①

② 避雷器のアース：雷の電流を逃す
③ 電化器具のアース：漏電しても感電しないように
④ しゃへい線のアース：しゃへい効果を確かにする

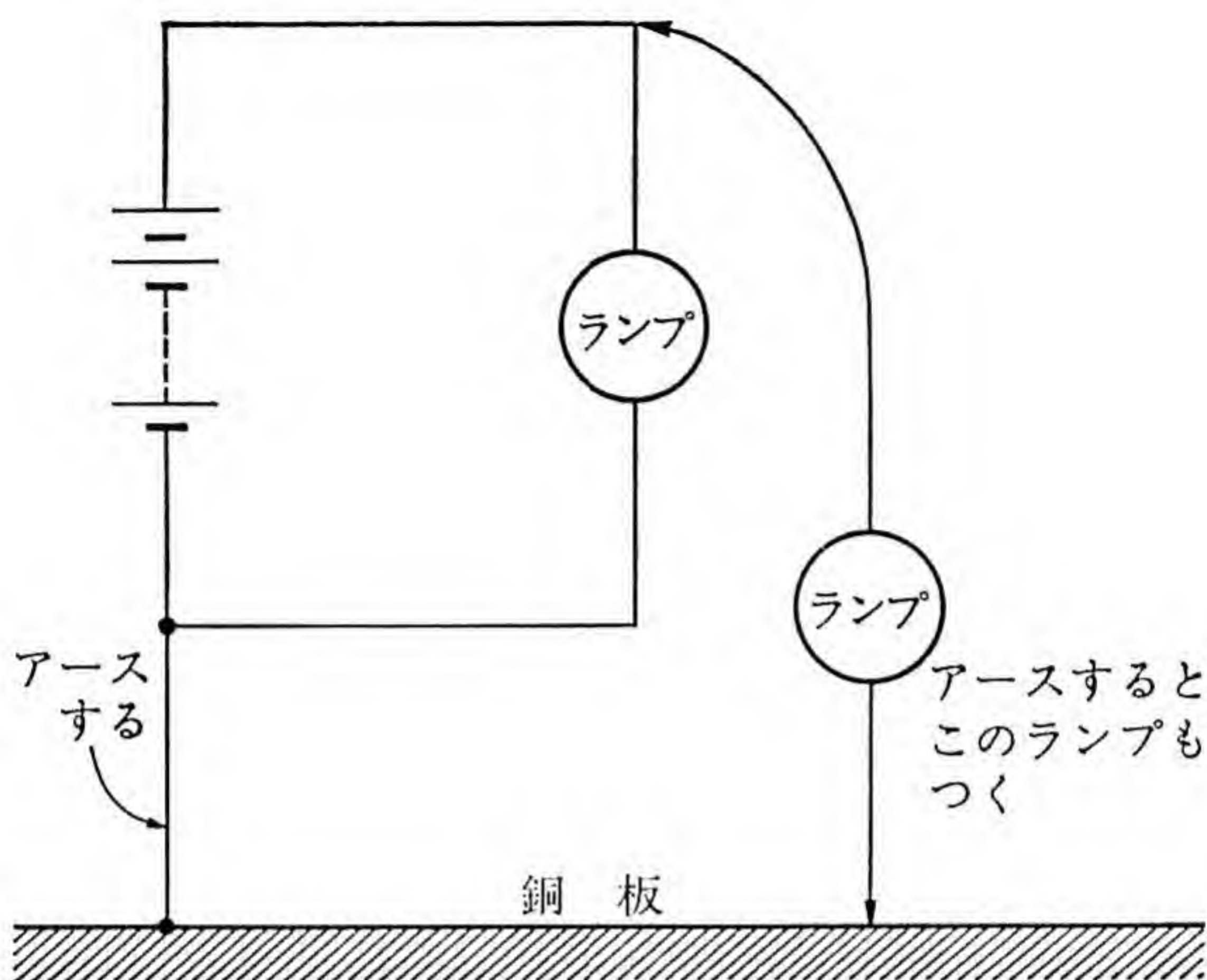
アースの必要性

する」という。

人間は地球の上で生活しているから、地球に接している限り、電気的に安全である。

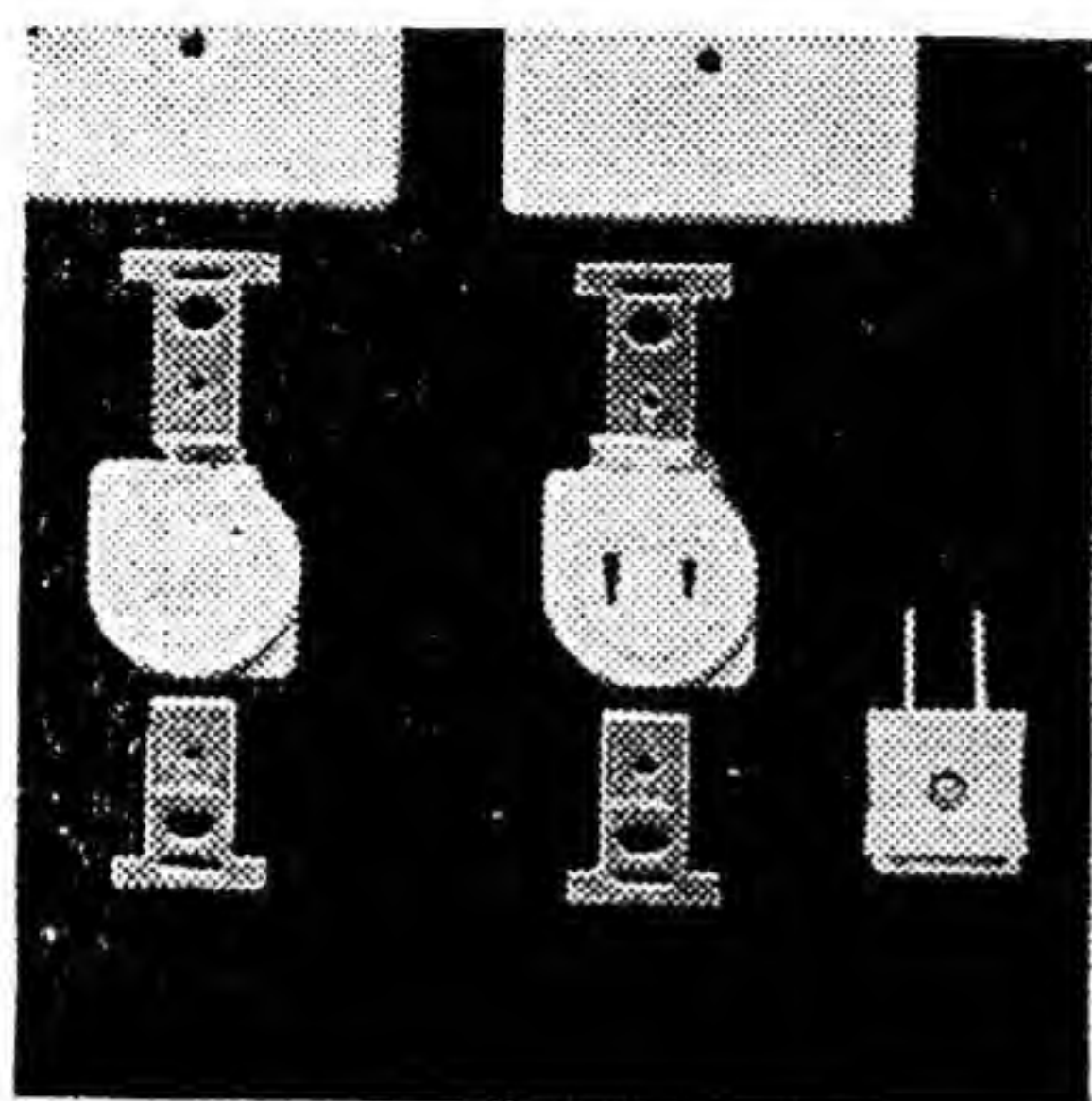
電気を安全に無駄なく送るには、地球から絶縁しなければならない。しかし、すべて絶縁すると異常電圧が加わって逃げ場がなくなると、絶縁物がこわれるまで回路の電圧が上がる。それは雷が落ちたり、開閉サージができたり、また高圧線が低圧線にふれたときにも起こる。

そこであらかじめ決めた所をアースしておくのである。

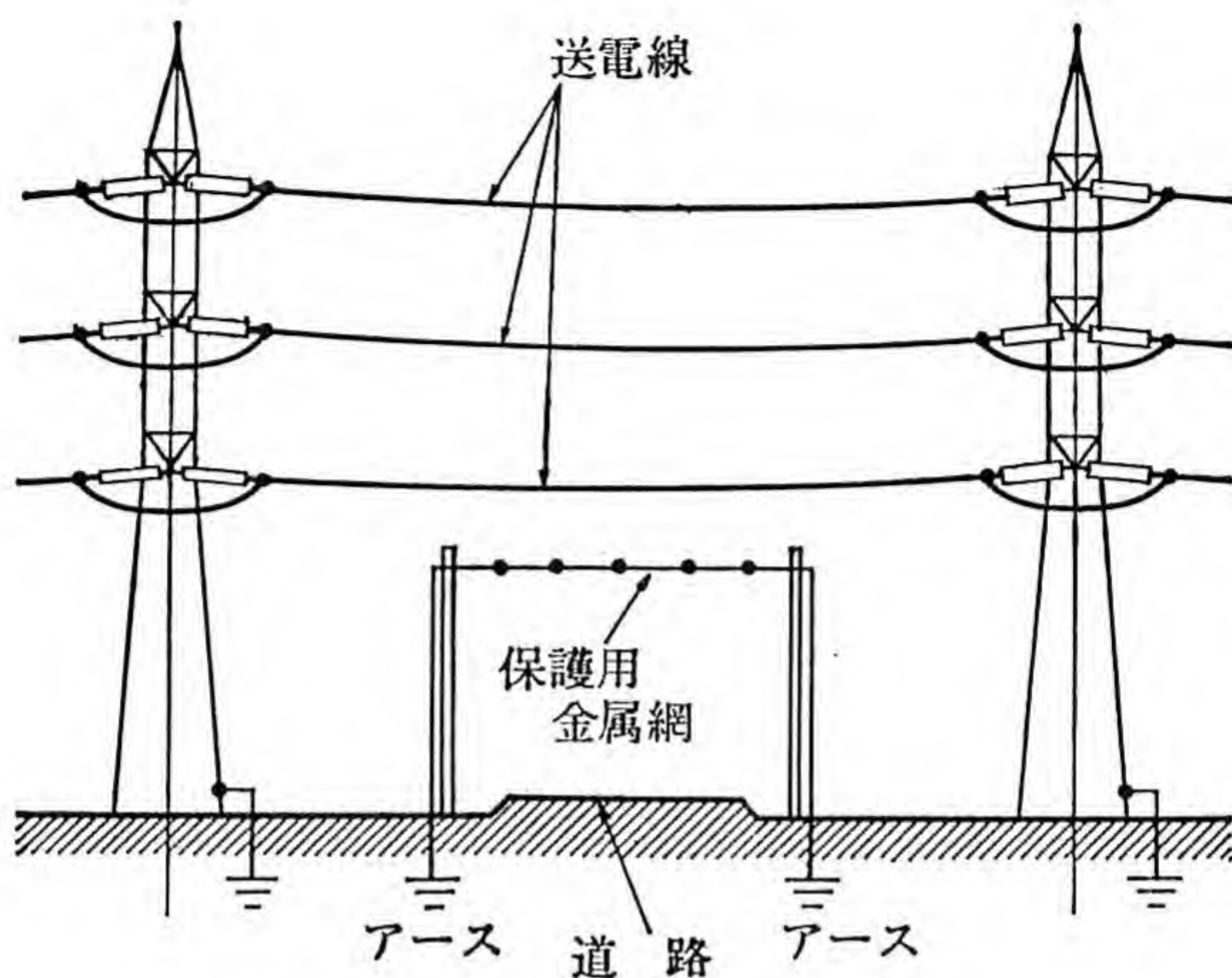
アースはこれらの回路だけではない。平常電気回路から絶縁されていて手でさわってもさしつかえない部分でも、万一にそな

電池のアース

えてアースしておくとよい。たとえば洗濯機、脱水機、冷蔵庫のケースなど、平常水を使ったり、台所など床面が地面に近い部分におく電気器具などは確実にアースしておくことだ。

アース線はできるだけ太くて丈夫な絶縁電線を用い、地面に直接埋めたり、場合によっては水道管につなぐ。ただしビニール管は絶縁物だからだめだ。ガス管は火災の危険があるから、もちろん使えない。

電気回路をアースすると不便なこともある。今、上図のように電池で二本の電線に電圧をかけたとき、両方とも銅板から絶縁しておけば銅板とこれらの電線の間につないだランプはつかない。次にどちらかの線を銅板につなぐと（アースすると）他の線

と銅板との間のランプは点灯する。
当然のことだが、これがアースの一つの欠点である。
しかし交流の配電線や送電線はアースしていなくても、絶縁物からもれる電流や、空気中（コンデンサーに相当）を通る電流によって、相当の電圧がかかるから、こう簡単ではない。
家庭で電気に最もふれやすいところは、コードの先のプラグを差し込むコンセントである。だから、プラグの方が出っ張り、コンセントの方がへこんでいる。それでも幼児が指をつっこむ恐れがある場合には、プラグを抜くとスプリングの力で自動的にふたがかかる「安全コンセント」が役立つ。

安全コンセント

B君は〝バリカン・アレルギー〟である。彼の行く田舎の床屋の椅子は古い金属製である。バリカンも年代もので、コードはあちこち破れている。
バリカンをかけてもらっている間中彼はびくびくものだ。もしもバリカンの絶縁が破れて電気が直接彼の頭にふれたらどうなるか。あなたはすでに彼の心配に同情して頂けるはずである。もっともこんな例はまずないだろうが。
電気カミソリ、あんま器、電気ハブラシなど体に当てて

送電線の保護用金属網

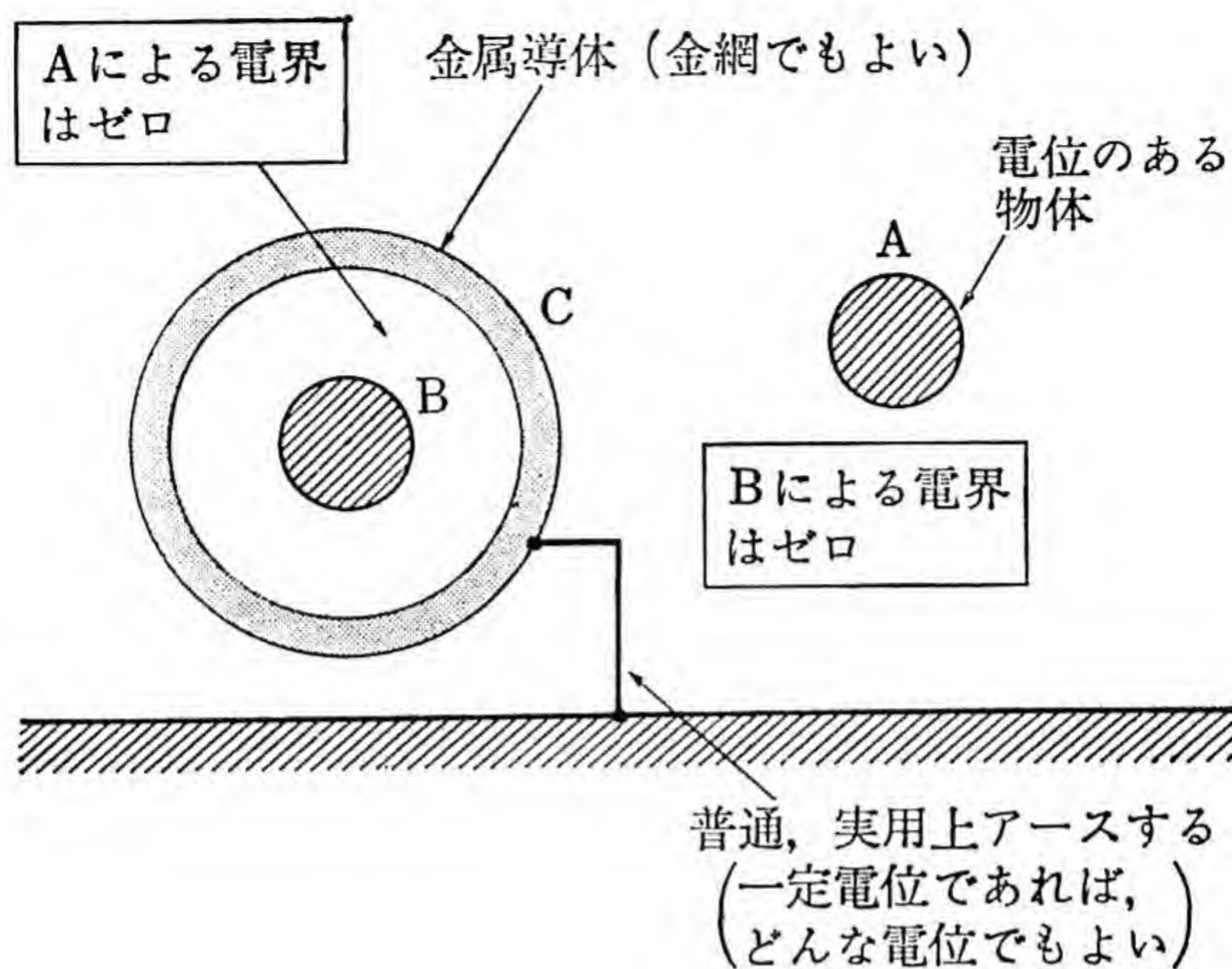
使用する電気器具は数多い。これらはできるだけアースに近い所で使わず、完全な器具をふとんの上など地面に対して絶縁のよい所で使いたいものだ。

電気ハブラシは口の中で使うから、安全を考えて電池で働くようになっている。

「しゃへい」

ある晴れた日の朝、変電所の七七キロボルトの電線の下を歩いていたK君は、突然髪の先が引っ張られる気がした。

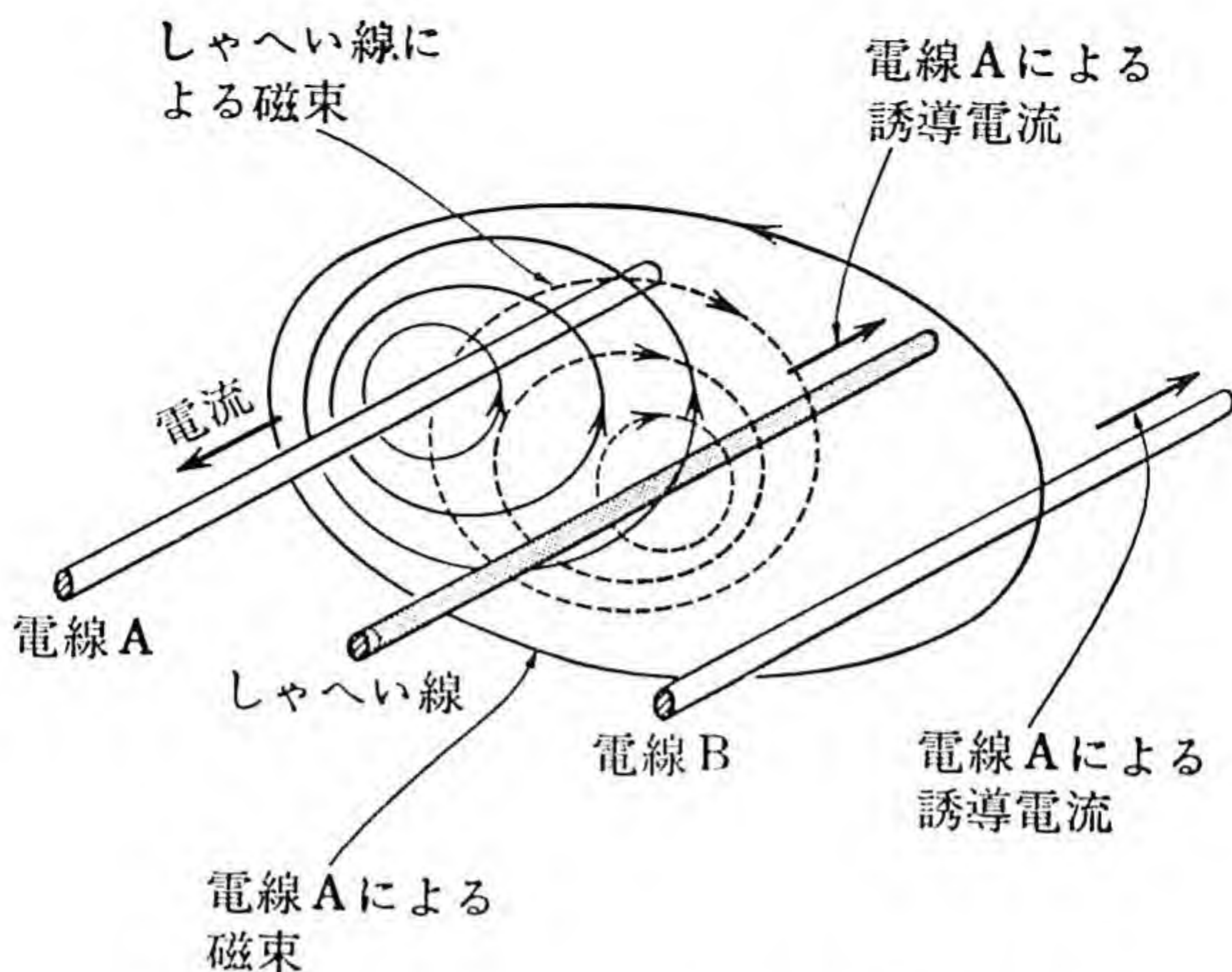
髪が静電誘導を受けたのである。

送電線が通路と交叉する場合に、線の下方に金網を設けてあるのが見られる。これは万一、送電線が断線しても人々に危害を与えないように考えられた保護網である。

静電しゃへい

この場合、金網は静電誘導を受けやすいから必ずアースすることにきまっている。古くなった金網は一応警戒しなければならない。

このように、電気はなかなか色気が多く、自分だけでひっそりくらすことはせず、いつも相手にお節介をやく。「電線に手をふれなくても感電すること」には、特に要注意である。

静電誘導は電圧で起こる。先述のとおりである。これを防ぐには抵抗の小さい銅やアルミニウムを用いてこれをアースすればよい。

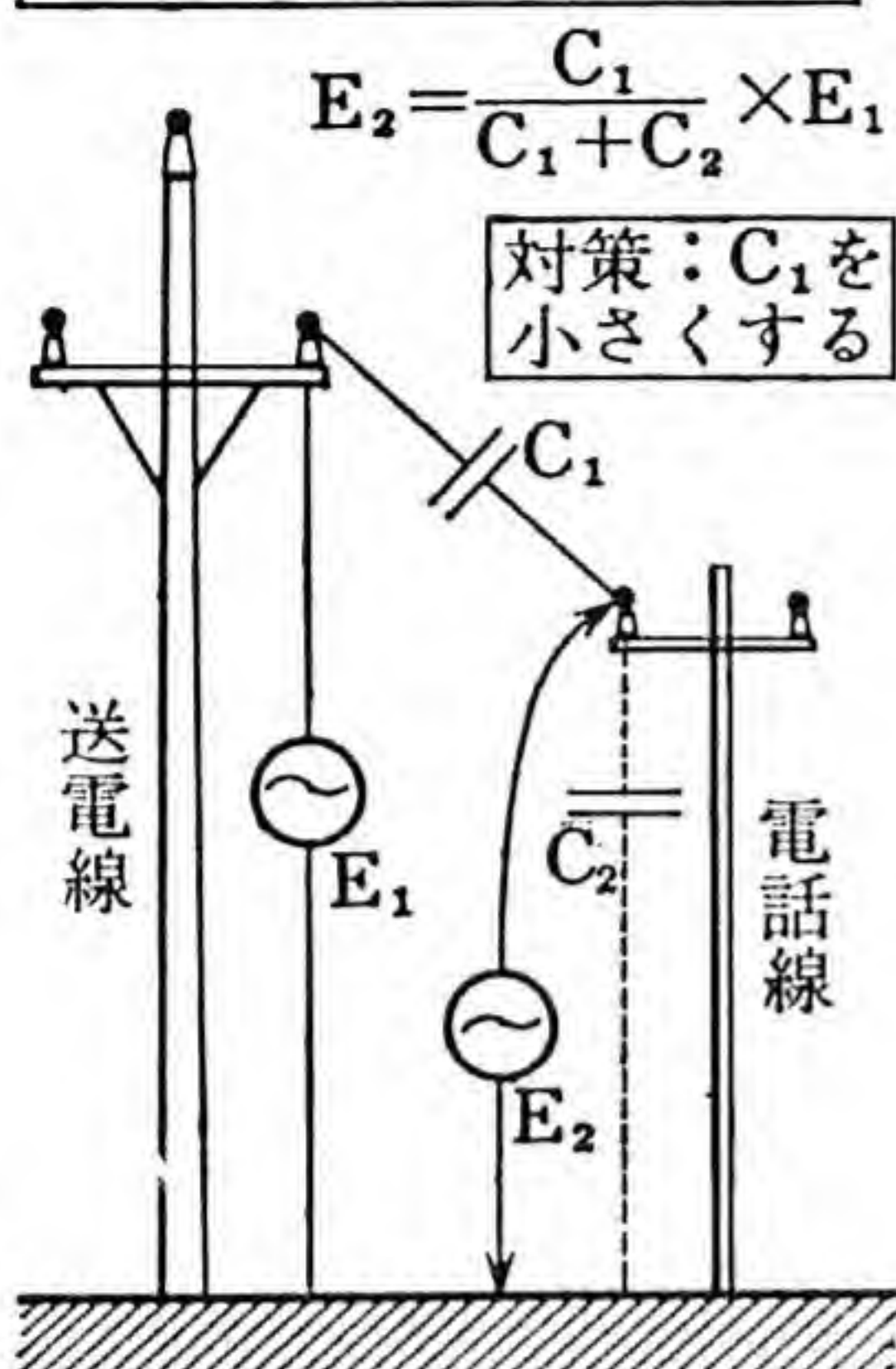
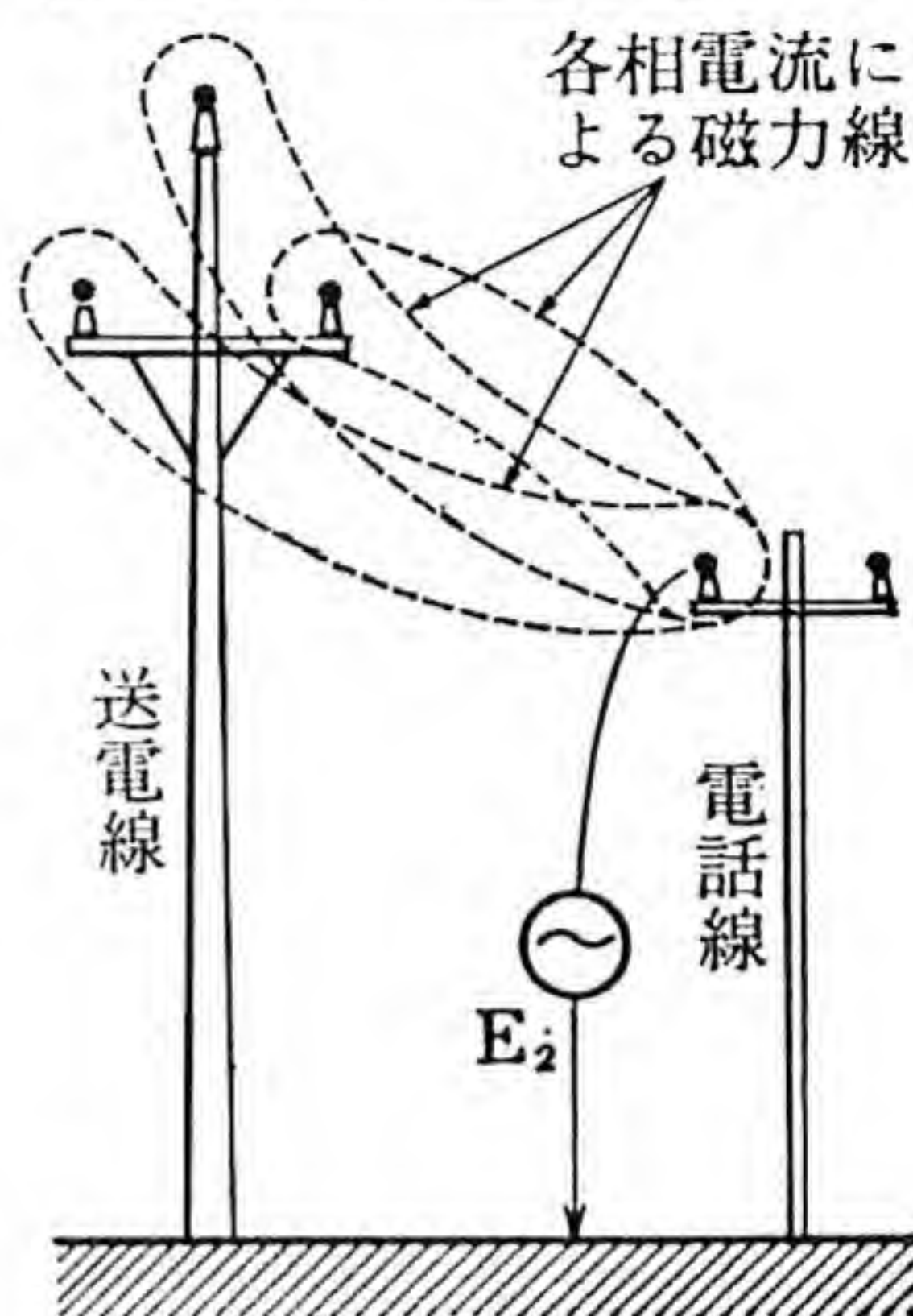
テレビセットの中には金属板の箱があり、その中にコイルや真空管を入れてある。これも静電しゃへいである。完全に

電磁しゃへい。しゃへい線にできた磁束は電線Bへの誘導を紡げる

しゃへいするとその中の電界はなくなる。後述の架空地線は静電しゃへいの働きもする。

電磁しゃへいは電流で起こる電磁誘導をしゃへいするもので、銅、アルミニウムなどの抵抗の小さい材料を用いる。

コイルから出る磁力線(磁束)の一部が、このしゃへい板を貫通して変化することにより、板に渦電流が流れ、この電流は貫通する磁力線を打ち消す役割をする。

いってみれば、〝毒を以て毒を制する〟方法といえる。この方法は高周波磁界の場合、特に有効である。

電磁誘導は線路の一部がアースしたり断線したりしたときのアンバランス電流によって、線路とその近くの他の線路とが変圧

送電線と電話線のジレンマ

器のような関係になって電圧が起こる。

静電誘導も電磁誘導も一番の問題は電話線への障害である。だから電力会社と電電公社との間で、いくらに押えるかいつも〝けんかの種〟になる。

世界的にも、その限度が論議されていて、人体の危険や電話などの損傷防止の点から、電磁誘導電圧については、三〇〇ボルト以下（超高圧系では四三〇ボルト）が日本での大体のとりきめである。

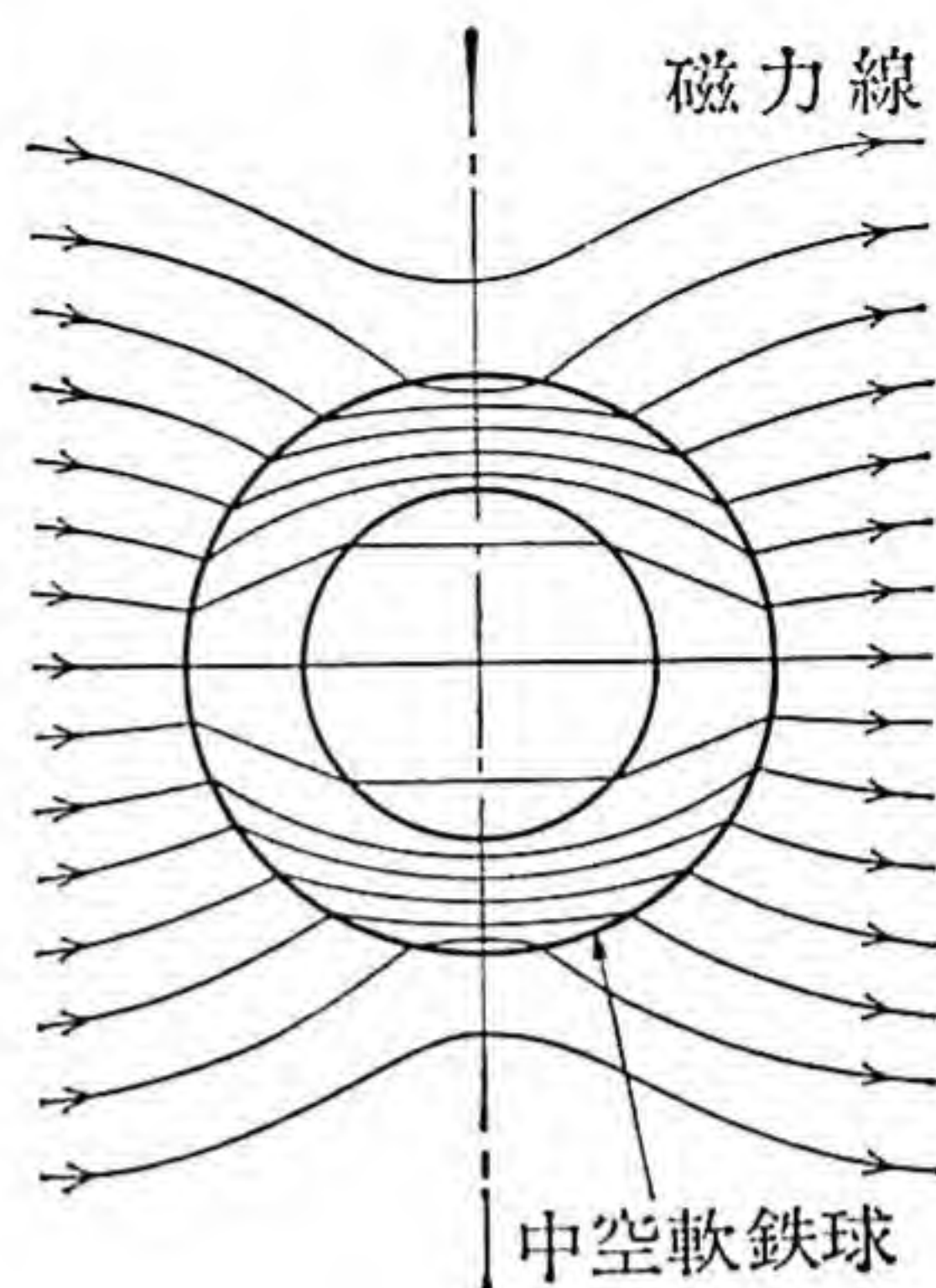
国際電信電話諮問委員会（CCITT）では一九五四年に一般に四三〇ボルト、特に故障の少ない電力線では六五〇ボルトまで許すとしている。

もちろん、電圧の限度は持続する時間を含めて考えなければならず、たとえば「六

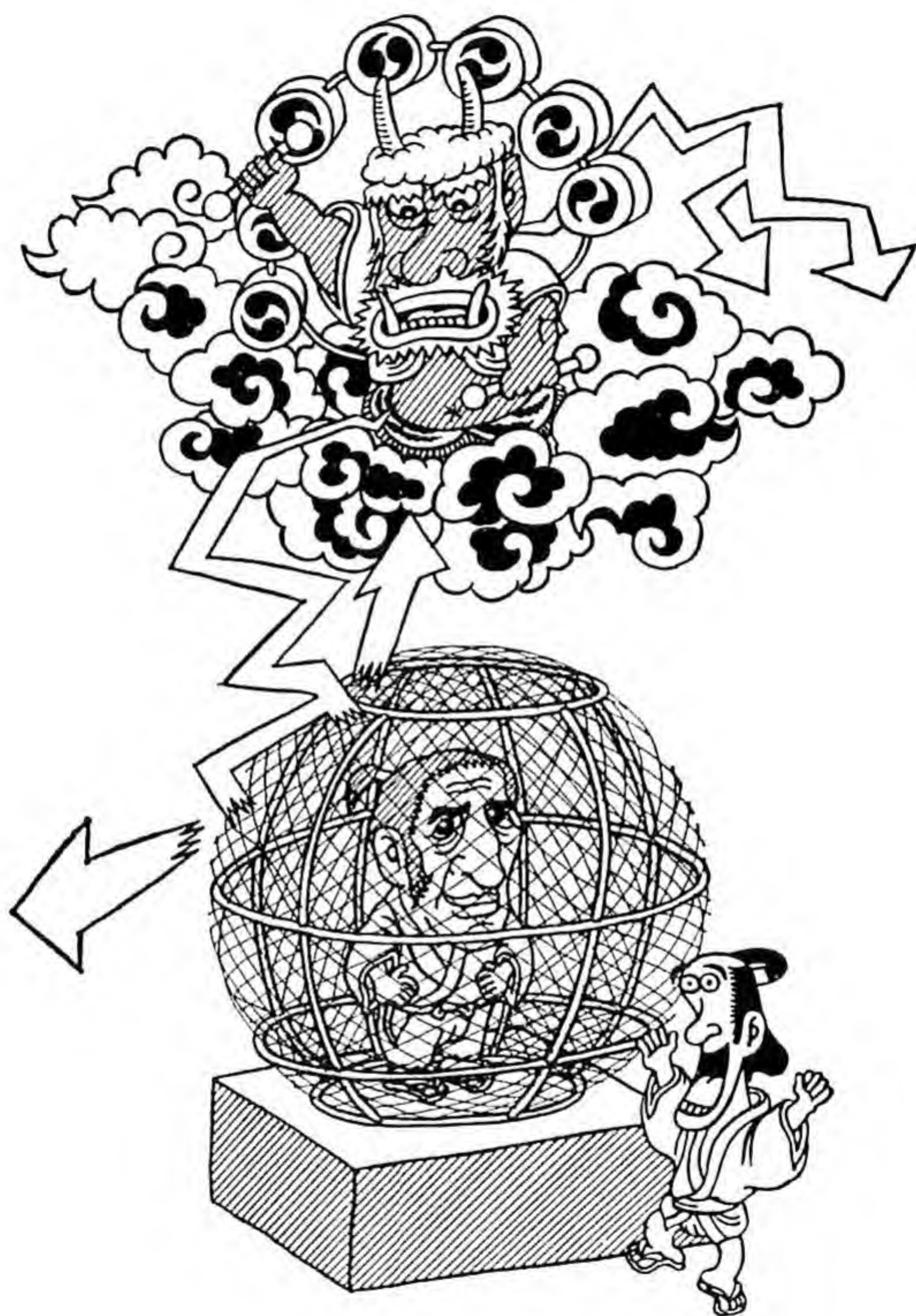
五〇ボルト〇・一秒」と「三〇〇ボルト一秒」とが大体等価だとしている。

電気の今日の発展はその誘導作用によるものだが、むやみやたらに〃浮わ気する〃誘導を避ける努力の方がむずかしい。

なお、三番目のしゃへいは磁気に対するもので、鉄板のような磁力線を通しやすい材料で包む方法である。鉄板は、磁力線を通すのに適当な厚さが必要である。

磁気しゃへい

次の図はアースされた大きな金属製のかごの中に人間が入り、これに八〇〇キロボルトの「人工雷」をかけたところである。

この実験は一八三六年一月十五日に、ファラデーが〃落雷を完全に防ぎ得る方法〃として彼自身が金属でおおわれた四メートル角の木箱の中に入り、まさつで高い静電気を発生して、これに加えたのとよく似ている。

このように、金属かごは雷電圧を完全に防ぎ、その内部の電界は〃零〃になるのである。このような金属体の働きを〃静電しゃへい〃と言う。

し ゃ へ い か ご

鉄板の箱の中に、アンテナ入りのラジオを入れると、電波がしゃへいされて聞こえなくなる。送電線の鉄塔の先端に細い電線が直接張ってある。これは架空地線と言って、雷雲が近付いても、下の電線に雷電圧を静電的に「誘導」しない働きをする。もちろん架空地線に雷の直撃を受けて、下の電線を助けることもある。

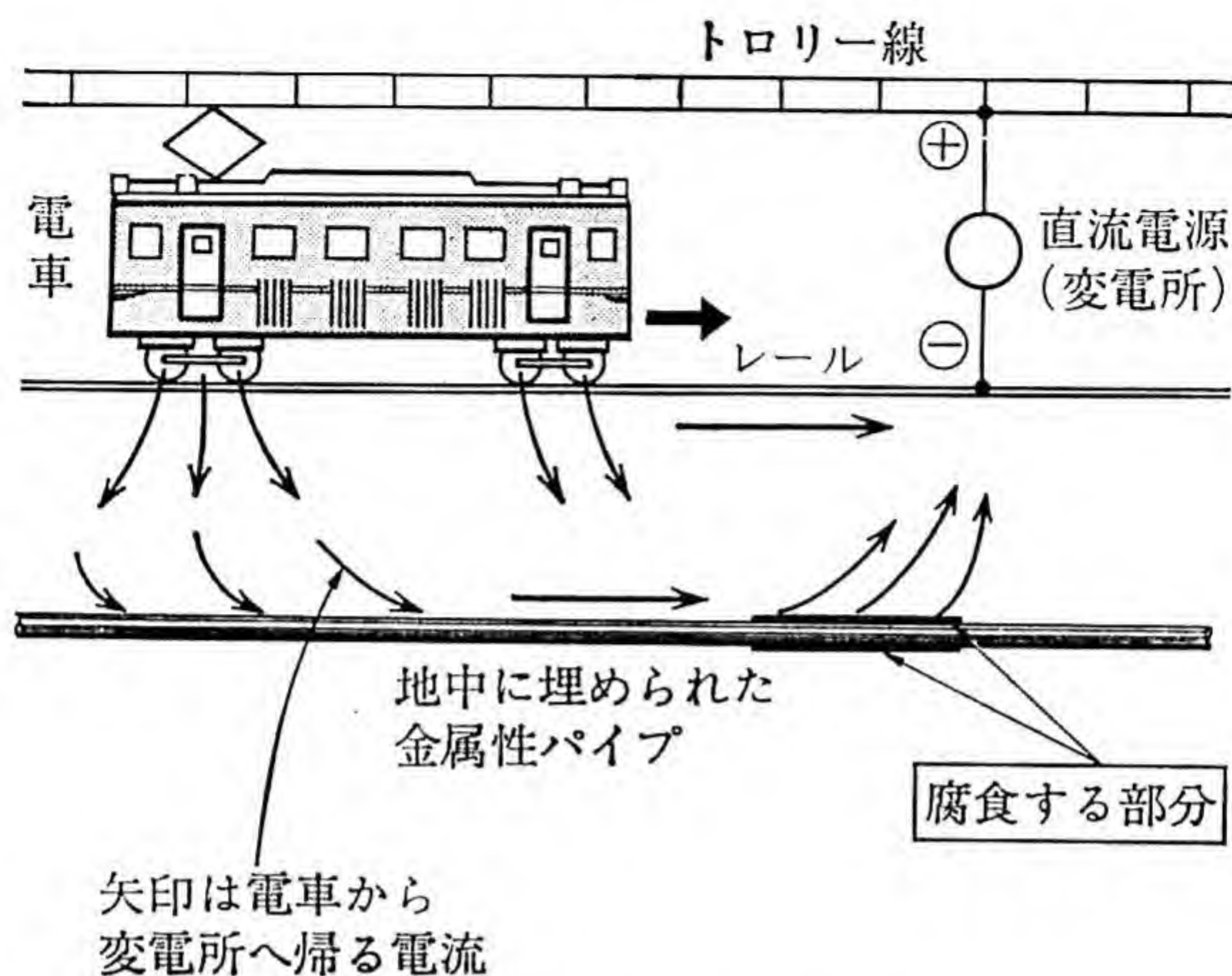
私の子供時代には、雷が鳴ると、かやの中に入れと言われたものだが、かやは金属でないから、しゃへい効果はない。これは、座敷の中で、たたみやふとんの絶縁物の上にいると雷電流が流れにくいということだったらしい。

腐食作用

電気はときどきとんでもないいたずらをする。

電流は発電機から出て発電機へ帰る。また電池から出て電池へ帰る。鉄砲玉のように行き放しは許されない。

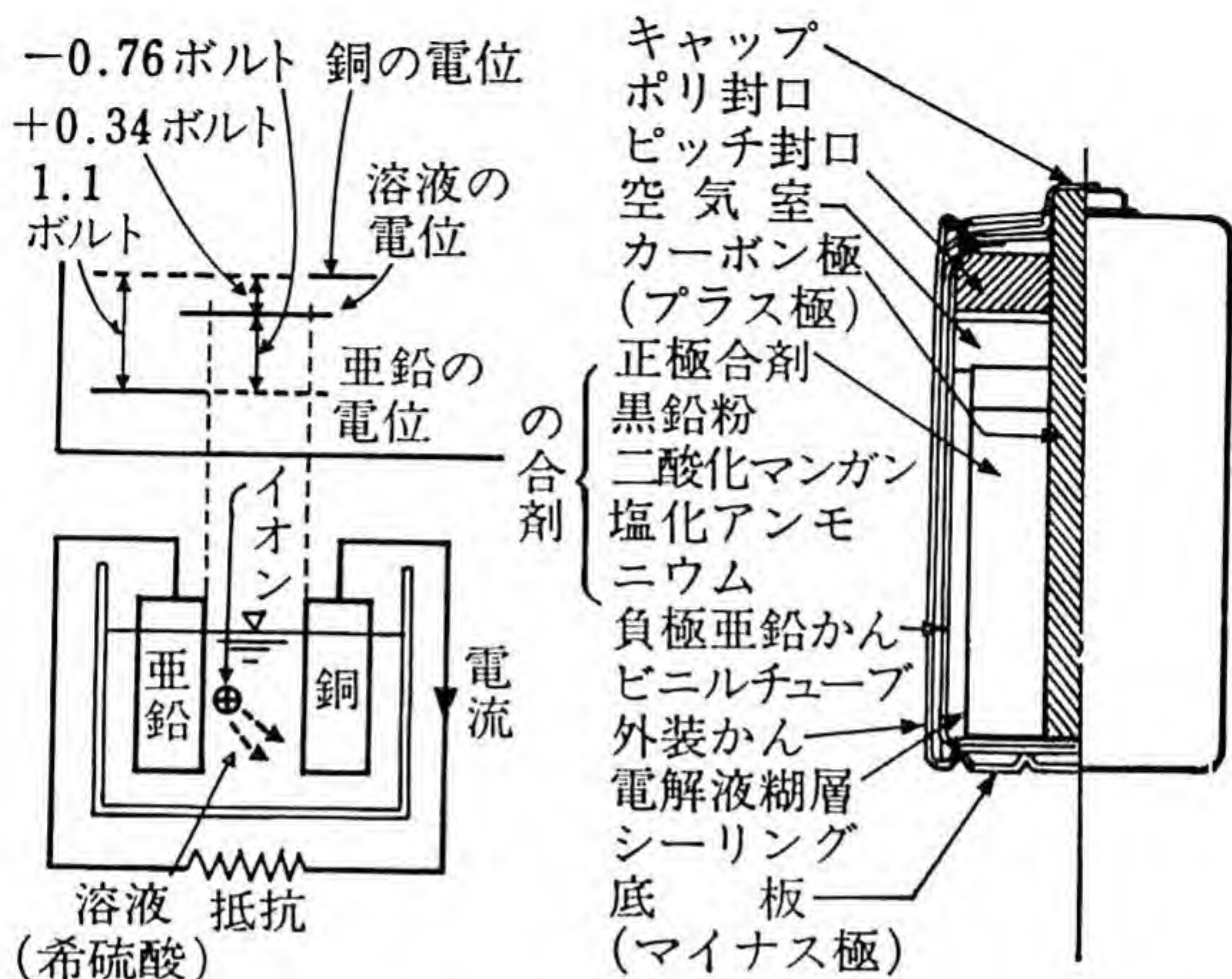
電車のトロリー線は一本であるが、鉄で出来たレールが帰り道である。レールのつなぎ目には太い電線（ボンド）をわたし、電流が通りやすくしてある。

トロリーバスはゴムタイヤ（絶縁物）の車輪を使っているから地面へ電流を流せないし、たとえ流れてもその回収が大変だからトロリー線をちゃんと二本作ってある。

レールの腐食

昔の市街電車のトロリー線は二本であったが、その後構造を簡単にするため一本に改造されたのである。

ところでレールは低い抵抗の敷石の上に布設されているので、レールの帰路電流のかなりの部分が地面に流れる。特にレールのつなぎ目のボンド（つなぎ線）がゆるんだりはずれたりしたときに多く流れる。そしてレールの近くの地中の水道管やガス管などの金属に電流が入り込み、また出て変電所にもどる。

そして電流が金属から流出するとき、道づれにして金属を腐食させる。

これが「電気化学作用」の一つで、われわれが電気を使う目的の電池の化学作用と同じ部類に入る。

ボルタの電池(左)と乾電池(右)

そこで腐食を防ぐには、金属埋設物にアスファルトなどの絶縁物を巻くか、流出する電流を一個所にまとめて電線で変電所に送り返してやればよい(選択排流方式)。

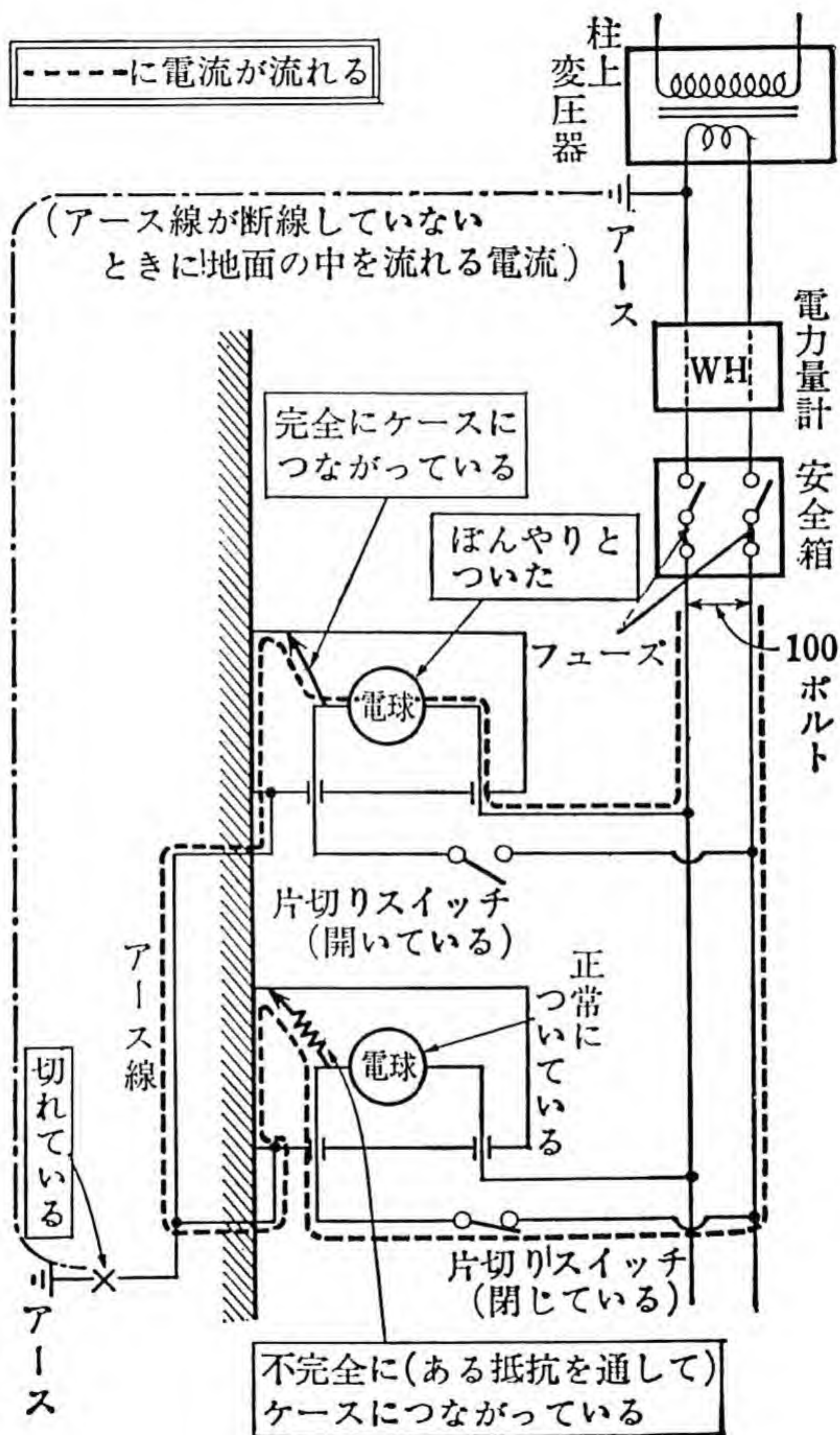
つまり、地中や水中の金属体の腐食を防ぐには、金属体から流出する電流を打ち消すだけの電流を流せばよいわけである。電流を流すには選択排流方式のほかに二つの方法があって、助けようとする金属より〃低電位の〃金属(鉄に対して亜鉛など)を金属面にとりつける方法(流電陽極法)と、別の直流電源で電流を流してやる方法(外部電源法)とがある。

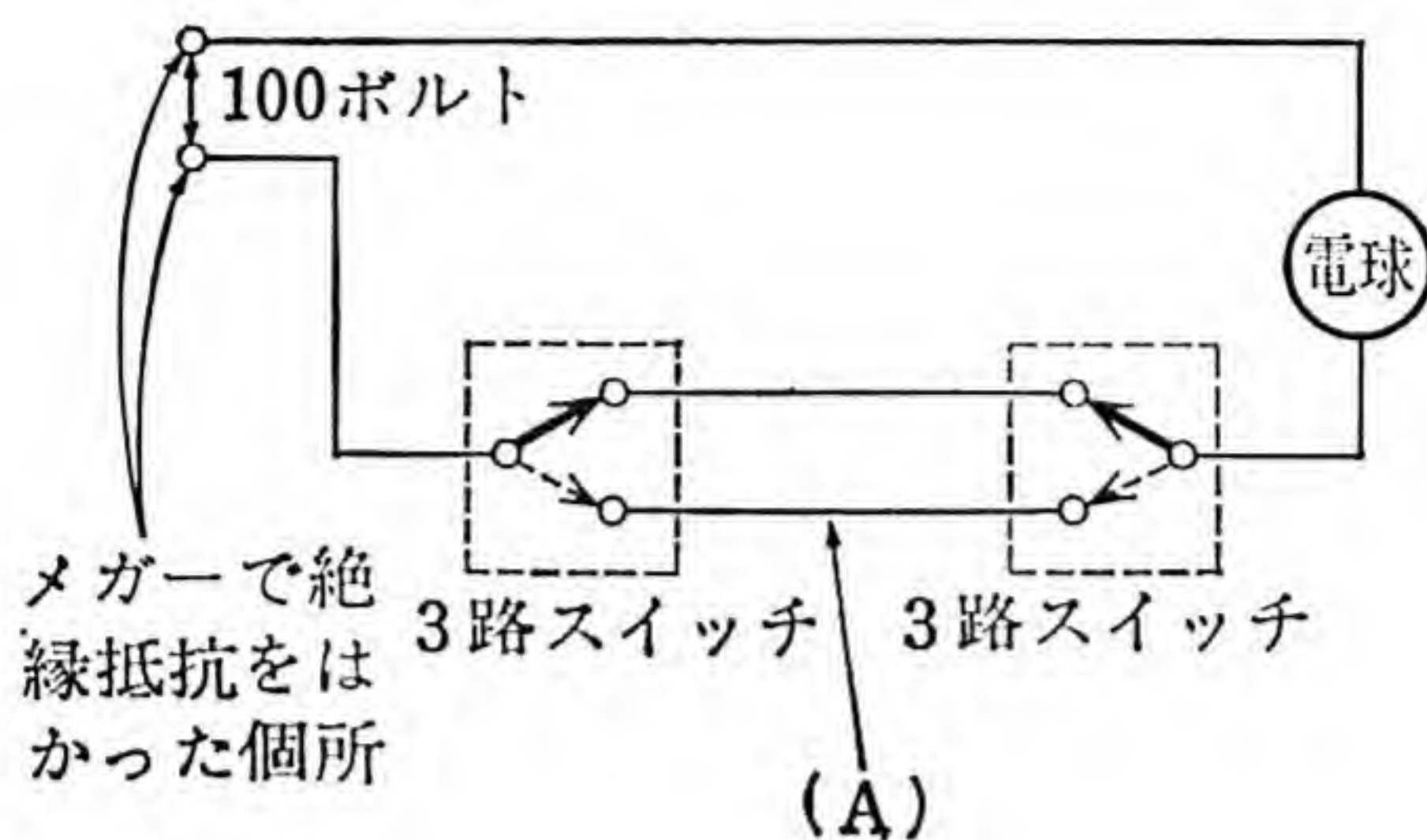
これも「毒をもって毒を制す」というわけで、第一の方法での亜鉛は鉄のぎせいになるわけで一種の電池である。

金属の腐食現象には、流出電流によるもののほかに、局部電池で電流が流れる場合もある。
以上の話から、電池の基本は、ある電解質（食塩、硫酸など水にとけて、プラス、マイナスのイオンにわかれる物質）の溶液中に二種の異なった金属を入れたものだということがおわかりだと思う。つまり、金属と溶液との間の化学作用によって、金属と溶液との間に電位差を生ずるのを利用しているのだ。
電池の最初はボルタが作った。彼は希硫酸の中に銅と亜鉛の板をはなして入れた。溶液との間に、銅はプラス〇・三四ボルト、亜鉛はマイナス〇・七六ボルトくらいの電位差ができるので、合計約一・一ボルトの電位差ができる。そして、導体を外部でつなぐと電流が流れる。
今日、使われているマンガン乾電池は図のような構成である。
写真の自動露光装置によく使われる酸化銀電池は、電池の放電につれて電圧がかなり一定値を保つ特長がある。

トラブルの盲点

次にわれわれが日常よく体験し、それでいてちょっと気がつかないトラブルの盲点について考えよう。
図を見て頂きたい。

-----に電流が流れる
柱上変圧器
(アース線が断線していないときに地面の中を流れる電流)
アース
電力量計
WH
安全箱
完全にケースにつながっている
ぼんやりとついた
フューズ
100ボルト
電球
片切りスイッチ(開いている)
正常についている
アース線
切れている
片切りスイッチ(閉じている)
アース
不完全に(ある抵抗を通して)ケースにつながっている

アース線のトラブル

鉄板のケースの中に入った電球が二組ある。ケースの中で故障によって電線がケースにつながった。また地中のアース棒とアース線が切れたままになっている。
まず、下側の電球は、片切りスイッチが閉じて正常についている。上側の電球は片切りスイッチが開いているのに、ぼんやりとついた。なぜだろう。
アース線からわずかながら電流が流れ込んだのか。
正にその通りで、図の点線のように電流が流れたわけだ。
実際、このように事故を防ぐはずのアース線がトラブルの原因になることが多い。
さて、この想定にはわざと落とし穴を作ってある。
今、アース線が切れていなかったら、どうなるか。答えは、「そのときでも同じ現象が起こる」
しかし、そのときは、地面の中に図のくさり線（——・——・——）のように電流が流れることに注意して頂きたい。それは先述のように柱上変圧器の低圧側で必ず一線をアースしてあるからである。つまり、いわゆる漏電が起こったのである。
また、下側のケースの中で電線が不完全にでなく、完全にケースにふれたらどうなるか。
答えは、「上側の電球は明るくつくはずである」
このときアース線が断線していなければどうなるか。
「地面を流れる電流はかなり大きくなって、非常に危険になり、ヒューズがとぶだろう」

3　路　ス　イ　ッ　チ

とにかく、このようにアース線は大切であるし、取り扱いがわるいと大変危ない。いつも、完全なアースの状態かを確かめる習慣をつけ、また必ず被ふく線を使うことだ。

アース線が切れているときに、ケースにさわったらどうなるかって？　もちろんピリッとくることがあるだろう。

次に屋内配線の絶縁抵抗をメガーで測るときの盲点を示す。

上図のように、階段や廊下の電球を二個所で〝自由に〟点滅するように3路スイッチを用いることがよくある。図のようにスイッチの中のコンタクトが太線のようになっていれば電球はつく。コンタクトが両方とも下側にあっても同じだ。

ある夜、図の太線のようにして電球をつけ放しにしておいた。翌日、メガーでもとのスイッチの両線を別々にはかった。〇・一メグオーム以上あった。

その二、三日後、もう一度はかったら、急に低い値が出

た。なぜだろう。

あなたはもうお気付きのように、このときは電球を消したスイッチの状態（どちらかのスイッチが点線のようになっていた）で、測ったのである。

つまり、最初は図の(A)が測定範囲に入っておらず、二回目は入った。そして(A)の範囲が大変絶縁が悪かったのである。

絶縁抵抗を測るときは、必ず測定範囲をたしかめることが大切である。

8　家庭電化のポイント

味な電化生活のために

これまで述べたのは主として電気の正体である。

この章では電気をエネルギーとして実際に使うのに必要な基礎知識を紹介しよう。

本来ならば、電気器具の個々についてくわしく述べたいが、紙面の都合で別の機会にゆずる。

本音を言うならば、電気器具の細部は日進月歩であり、またそれらはメーカーのカタログなどでくわしく紹介されている。だから、基礎的なことを知っていれば、あとはその都度容易に理解できると考えている。

電気の基礎知識の復習のつもりで読んで頂きたい。

さて、本論に入る前に強調したいことを一つ。

家庭電化の終局のテーマは、よく、人間が手を下さず、ソファーに坐ってのんびりしていることだと言われる。

マンガに出てくる「食品列車」、これはたいへん子供好きのするように書いてある。ボタンを押す。模型の列車に乗って食事が出てくる。好きなものをとる。食べたあとの食器はそのまま捨てる。

一事が万事……。このようなシステムで事が運ばれる。しかし、果たしてこれで人生が愉快に

なるだろうか。つまり、人間社会の本当の楽しみ、本当に必要なものは何か。この辺ではっきり考えるべきだろう。
さしみも何もない全くの冷凍食品の哀れさ……これが人生をどれだけ味気ないものにするか、それは容易に想像できるだろう。
電気の使い方もその辺の兼ね合いがむずかしい。

光源

電気エネルギーの最初の実用的な用途は、光の生産であった。日本では東京で最初にアーク灯がともされた。
エジソンが日本の竹をとりよせて、それからせんいをとり出し、炭素電球を作ったのも有名である。
発光の方法には「温度放射」と「ルミネセンス」がある。そしてわれわれがエネルギーの不思議さを痛感し、物質のミクロの世界の神秘さに思いをいたすのは後者の方である。
けい光灯、〝光る壁〟といわれる電子ルミネセンス、さらに大昔から人々の心を捕えたホタルや夜光虫などの生物ルミネセンスなど……。
以下これらの原理をかんたんに調べて見よう。

まず温度放射。
武家時代の名刀のでき具合は、鉄の焼き入れ温度できまったと言われ、その温度は鉄の肌色で判定したらしい。
物体の温度をゆっくりと上げて行くと四〇〇～四五〇度Cぐらいで暗赤色となり、さらに温度を上げて行くと赤、橙、黄、白の順序となる。
白熱電球はこのような温度放射を利用したもので、必然的に高温度になる。いってみれば光を出すために高温の電熱器を作っているようなもので、光としてとり出すエネルギーの効率は非常に低い。能率時代の今日としては珍しく幼稚な方法である。
ルミネセンスは温度放射以外のものの総称である。これは励起された原子や分子やイオンがそのエネルギーを放出するものである。
ルミネセンス発光には何らかの刺激が必要で、刺激の種類によっていろいろ分かれる。また、発光の継続時間により、「りん光」と「けい光」とに区別される。けい光は刺激の作用している間だけ発光し、刺激を取り去れば、ただちに止むものをいう。けい光灯のようなものである。
りん光は、刺激を取り去った後も、数分から数日もエネルギーを蓄積し、発光を持続するものだ。夜光時計はこの応用である。

照明に最も多く用いられるのは電気ルミネセンスを利用したけい光灯、水銀灯、ネオン管などである。

〝けい光灯のような奴〟とは、朝仕事を始めるのはおそくて、退社時刻になると、真っ先に帰る人のことをいう。

つまり、グローランプ・スタートのけい光灯は、つくのは数秒かかり電源を切ると放電は瞬時にとまる。

最近は「ラピッド・スタート」という瞬時スタート方式があるが、いずれにしても、けい光灯のスタート時にはフィラメントに一時的に大きな電流が流れる。

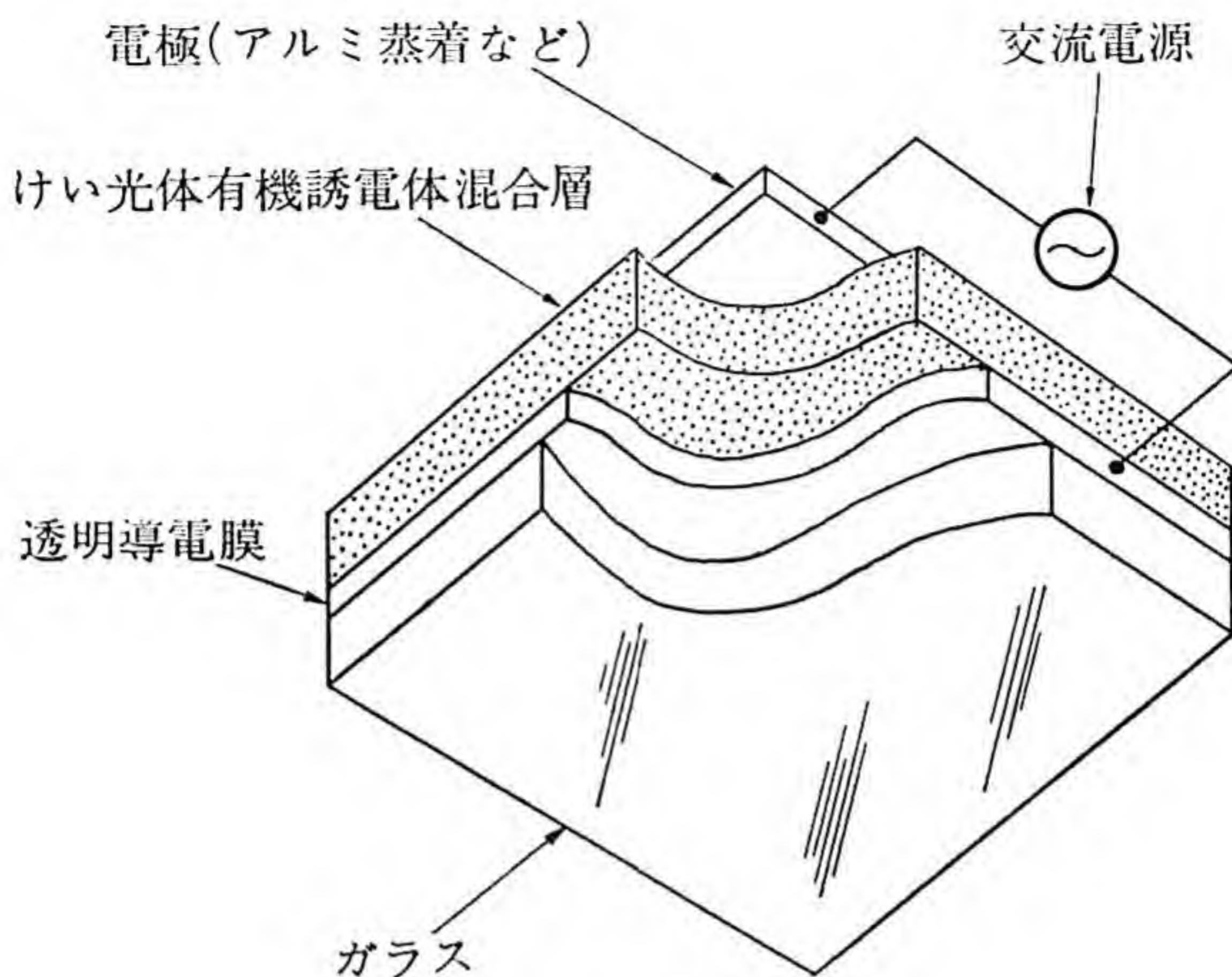
だからけい光灯の点滅回数は寿命に大きな影響を与える。

またけい光灯は、周囲温度が下がると放電がはじまらないときもある。このときは、低温用けい光灯が必要になる。

一口に照明と言っても、受けとり方は人によってまちまちである。

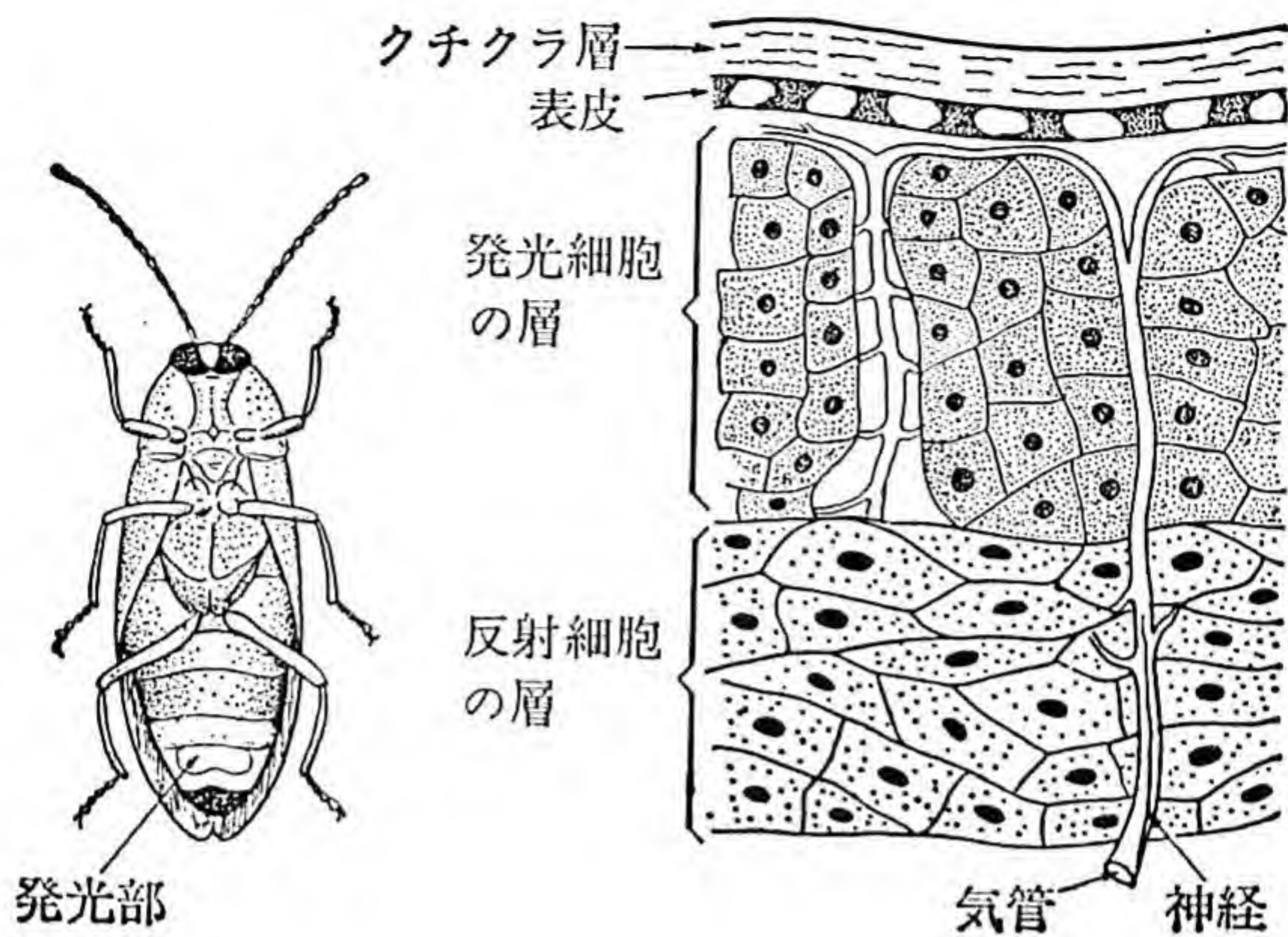
特に最近は単に必要な明るさをとり戻すことだけではなく、対象物の色感を損なわず、適当なアクセントがあり、また場合によっては気分転換をうながす、いわゆる「ムード照明」が求められている。

これを灯器について言えば、ひところのけい光灯一本槍はかげをひそめ、点光源であり、暖色

系の白熱灯の併用が話題になってきた。
しかし照明の本来の進歩の方向は、
点（白熱電灯）→線（けい光灯）→面（ELランプ）の流れである。
ところが先述のように人は一概にそのように納得しないところがおもしろい。
つまり、影の少ないむらのない均一照度の照明はたしかに太陽照明に近付くものであるが、人間はそれに強い反発を示す本質がある。
わさびやけんのないさしみがつまらないのと同様に、アクセントや変化のない照明はあきられる。
われわれがもしもいま全面照明の室に入れられるとどうなるだろう。四周全部鏡の室に入ったのと同様に、落ち着かず、しまいにはノイローゼになり、かんべんしてくれと言って逃げ出すかも知れない。
話題になっている「ELランプ」は影の少ない均一照明をねらったものだが、その適用にはこんなことも注意しなければならないだろう。
固体に電界を作用させて電子を加速させたとき、高いエネルギーを得た電子が正孔と結合すると（電子がその抜け穴にもどるとき）ある波長の光のエネルギーを捨てる。
この現象を利用したのが「ELランプ」である。

埋込形ＥＬランプの構造

上図のようにガラス面に透明な導電性の被膜を施し、その上に、エレクトロ・ルミネセンス用の特殊なけい光物質を誘電物質中に埋めたものを、一〇〇ミクロン程度以下の薄層で塗布し、この上から金属被膜を蒸着その他の方法で付けたものだ。

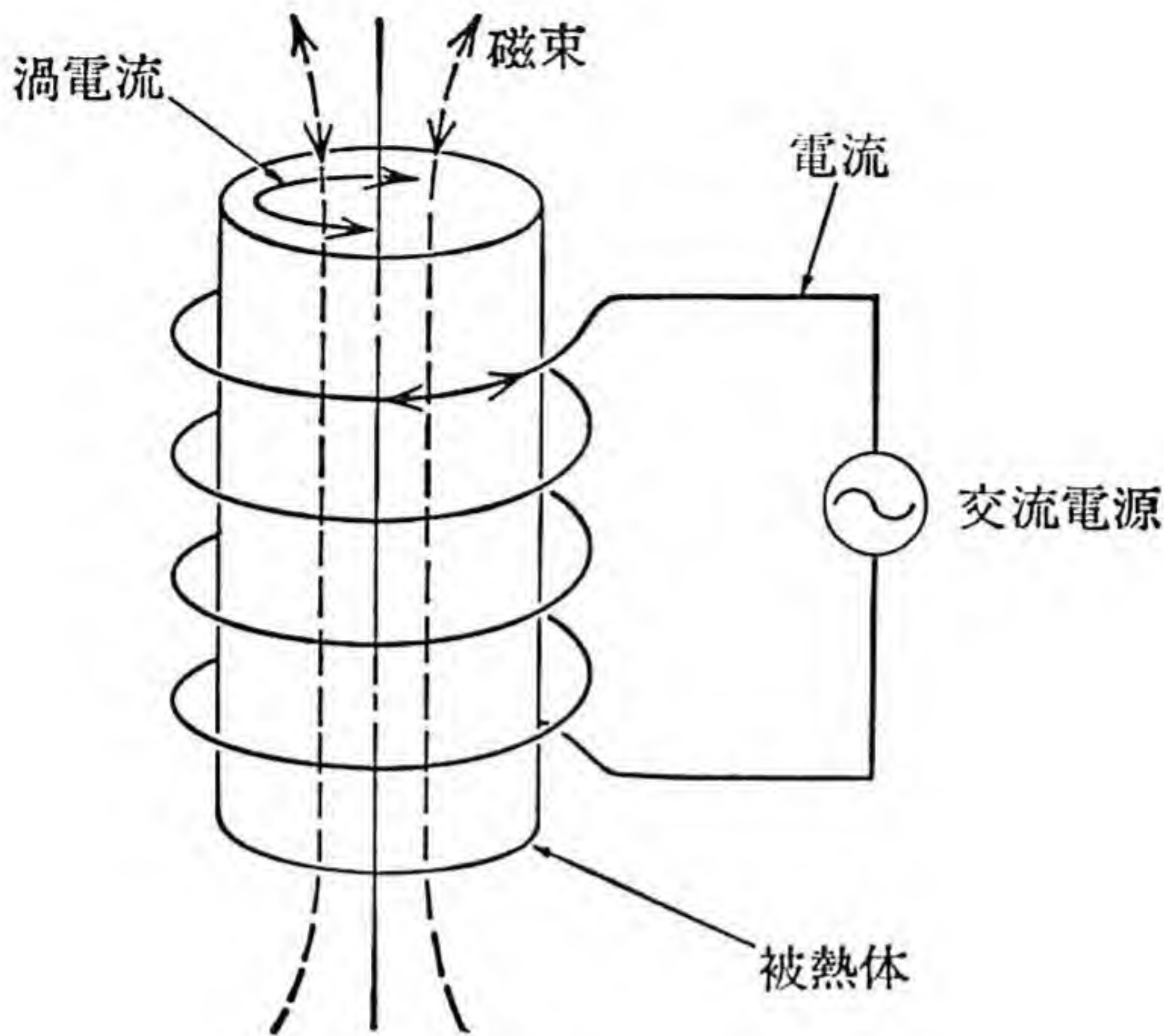
いってみれば両電極の間にけい光物質の薄層をサンドイッチ状にはさんだようなものである。両電極の間に交流電圧をかけると、けい光物質に強い交流磁界が加わり、これによってけい光物質が発光する。

ホタルの発光もルミネセンスの一種である。ホタルの発光器は、腹部の末端の黄白色の部分で、皮膚の真下に発光細胞があり、気管と神経が分布する。また、その下部の細胞の層で光を反射する。

ホタルの発光器とその断面

熱源

およそ実用的な規模の「エネルギー変換」の中で、電気エネルギーからジュール熱への変換ほど効率のよいものはない。それは理論的には一〇〇パーセントである。もちろん生じた熱エネルギーをうまく損失なく目的物に吸収させる過程は別である。

しかしジュール熱はいつも〝両刃の剣〟である。つまりこれほど効率のよい変換が往々にしてじゃまになる。これがほとんどの種類のエネルギー変換につきまとうからである。

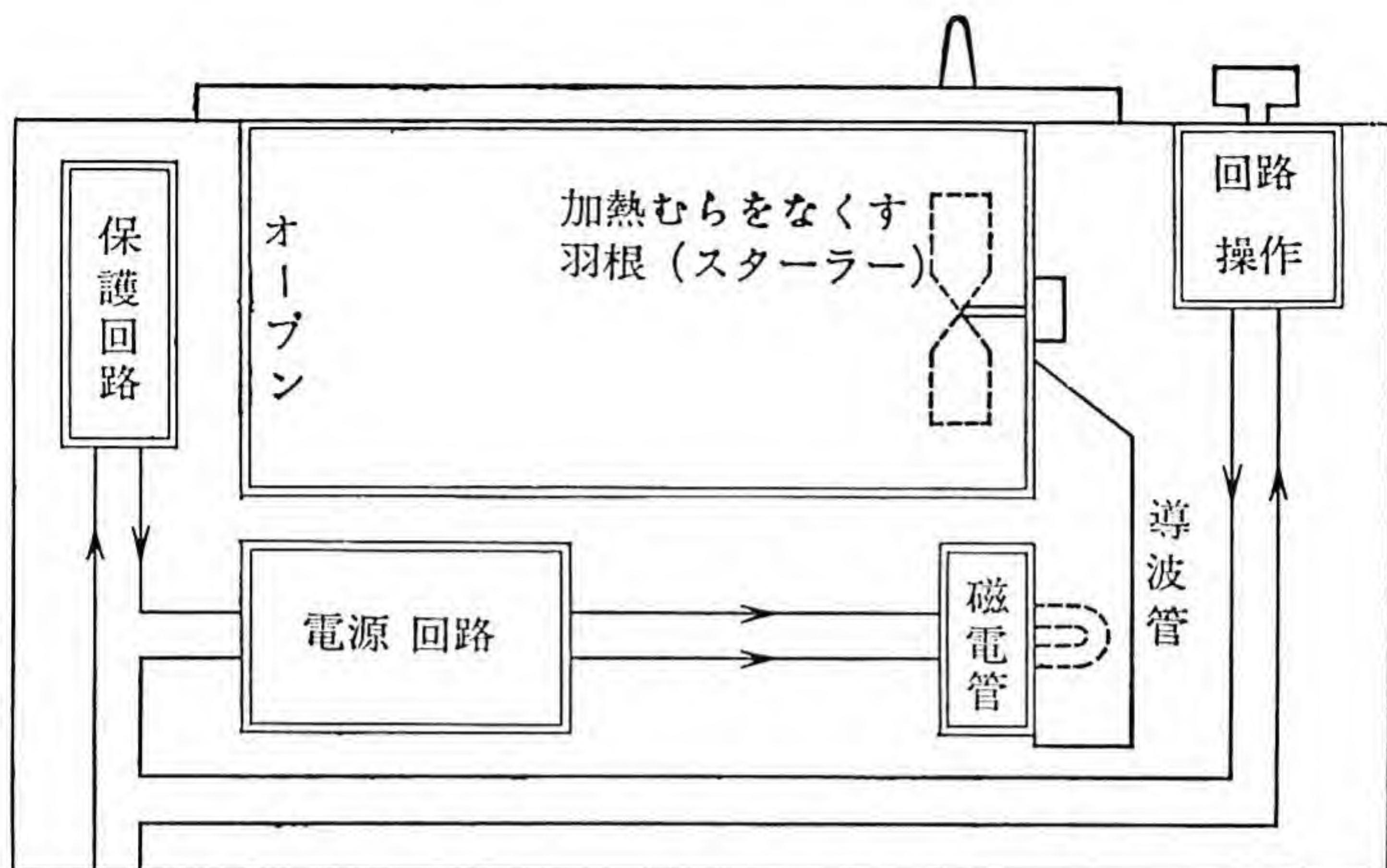
水力発電所の発電機のやきばめ作業がある。ローターの外周に電線を三〇回巻き、六〇ヘルツの三〇〇アンペアの交流を二〇

誘　導　加　熱

時間流す。二〇〇度C位になったローターをクレーンで吊ってシャフトの外側にはめ込む。冷えると、かっちり連結される。この場合電流が直接流れないはずのローターがなぜあつくなったのだろうか。

実はこれも先述の渦電流のしわざである。

一般に交流磁界内に金属のような電気の良導体を置くと、電磁誘導作用によりその中に渦電流が流れ、いわゆる「渦電流損」が生ずる。

これが「誘導加熱」の原理で、工業的に広い用途がある。表面だけ暖めたり、しんから暖めたり、自由に金属をとかしたり、加工したりするのによく用いられる。

また一方、絶縁物は高周波磁界を加える

電子レンジの原理図

と、その中にある電荷同志が、電気力を受けて電界の変化に従って回転し、その際に生じるまさつ力によって発熱する。これが「誘電加熱」の原理である。誘導加熱の対象が金属であったのに対し、誘電加熱は絶縁物を内部から暖める特色がある。図は最近はやりの電子レンジの原理である。

K君は神経痛をなおすために赤外線電球を買った。

赤外線電球は普通のガス入り電球よりやや波長の長い（一・五ミクロン）放射エネルギーを利用するもので、波長の長い部分のエネルギーを増すために、フィラメントの温度を三〇〇〜五〇〇度K下げてある。したがって、フィラメントは二〇〇〇度Kぐらいで寿命は普通の電球の約二倍でおよそ

三〇〇〇時間以上となる。

動力源

家庭電化で使う動力源としてはほとんどの場合モーターが使われる。

これまでエネルギー変換や電磁誘導の原理的説明でモーターのことを片付けて来たので、次に主なエッセンスを述べる。

家庭電気器具を選ぶときに、器具に期待する機能はさまざまである。

日常生活で電気が人間にとってかわる分野は、光源、熱源といった基本的に不可欠の分野と、それに続く主として人間の労働をカバーする「動力源」としての分野に大別できるであろう。

そして、生活が高度になるほど、「動力源」の活躍範囲が広がって来る。

しかも、それは、人間の本来の機能から見てどうしようもない電気動力の必要性と、そうでなく、人間がレジャーを楽しんだり、他の仕事をするための電気動力の肩代わりとにわかれる。

電気器具の機能を把握するには、まずこの辺に腰をすえて熟慮して見る必要がありそうだ。

そこで、先の関西の大停電のときのH君の奥さんの話を聞いて見よう。

「ええ、それはたしか朝八時すぎでしたわ。主人をやっと送り出し、小学校三年の男の子もやっとのことで見送った後でした。

私、毎朝八時四十五分から始まるＮＨＫテレビの『今日は奥さん』を楽しみにしているんです。それがすんでからスーパーへ買い物に行こうと思っていたんです。
そこへ停電でしょう。はじめのうちは、近くの配電線の故障ぐらいに考えていたのです。主人がよく停電になっても一分後に自動的に変電所のスイッチが入って送電されることが多いと言っていましたので、じっと立っていたのですが、なかなかつかないのです。
そりゃそうですわ。あとで聞いたのですが、全く広い範囲の停電だったそうですね。
水道は幸い止まりませんでした。ええ、ガスも来ていました。朝だからリビング・キッチンのけい光灯がつかなくても辛抱できました。
洗濯機が回らないので、昔に返ったつもりで手でごしごしやり出しました。そのまましぼって外へ干しました。しかし、後で気がついたのですが、これが問題でした。
私のうちでは、いつも遠心脱水機を使っているのですが、それが使えなかったのです。
これだけはいくら手でしぼってもぶるんと一分間振り回すのにはとても追いつけないのです。乾燥がおそく、いつもならものの一時間でからからになるところを五時間もかかってしまいました。おかげで、すべての予定が狂ってしまって……」
奥さんは一口にしゃべってしまって、ちょっと考えるふりをした。
「そうそう、この電気ハブラシ、これは主人が先日だまって買って来てくれたのですが、ちょっ

とおもしろいのです。なかなか歯の先生が言われるようにたていにうまく腕が動かないのですが、これは一応その要求にかなっているようです。もちろん、電池で動きます。だから停電でも助かりましたわ」

奥さんの話には、電化の基本的な構想がひそんでいるようだ。

まず、「乾燥」という、〃人間ではどうしようもない日常作業〃を電気動力にまかせていること。次は〃人間の動作の本質からやりにくい作業〃をやらせていることである。

もちろん、これは一例だが、このように各人が自分なりに、電化の目的を考えるのがまず第一と言えよう。

次は「自動化」について。

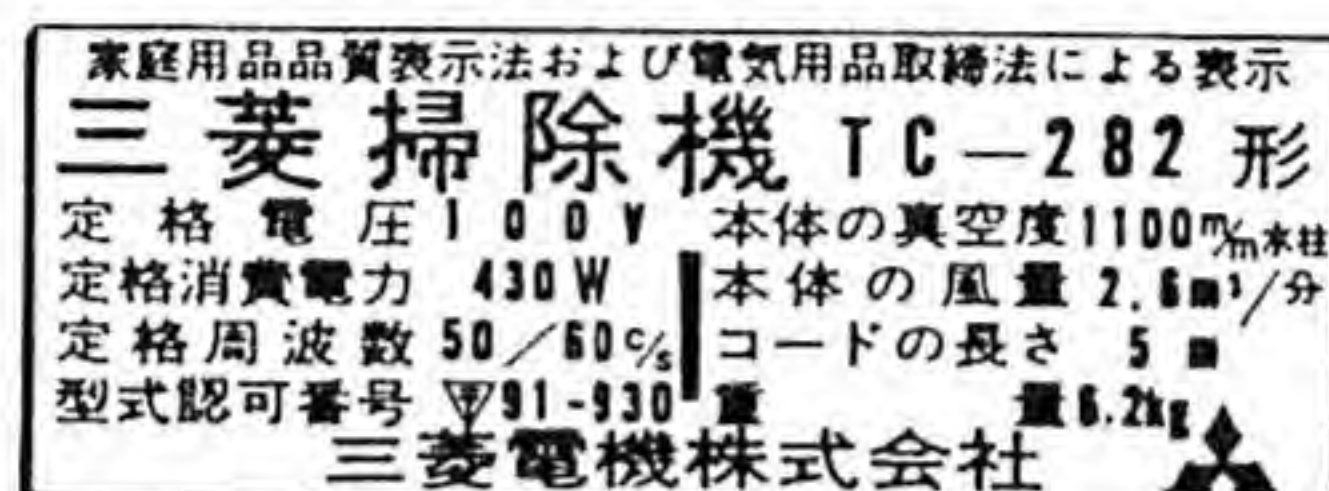
脱水洗濯機というのがある。タイマーと水圧リレーの組み合わせで、洗濯物の投入から脱水完了までの動作を全部自動機械にまかせてある。

これからの電化器具の一つの行き方である。

電気は自動化に利用するのに大変便利である。しかし自動化は「無人」を意味するので安全性が高いものでなければならない。一例として、ガス瞬間湯沸かし器をあげよう。

自動点火は大てい圧電作用を利用して火花放電を起こし、これでガスに点火している。しかしなかには、点火しなかったときの保護装置がないものがある。

電熱は、この点、つかなければ安全だということだから非常に安心できる。
次は「ポータブル」ということ。
家庭電気器具の宣伝にポータブルをうたった例が多い。
戦後、ラジオがポータブル化した。それも初期はMT管（小形真空管）を使っていたが、昭和二十五年頃、トランジスターの国産化に成功して以来、急に小形化した。テレビも同様である。
しかし、注意を要するのは本当に「ポータブル」が必要かどうかということだ。ポータブル化するための設計の無理と、コストアップが大きい場合もあろうからだ。
さらに多目的利用がある。
「ジューサー・ミキサー」という商品がある。
一頃はやったミキサーに、その後伸びて来たジューサーの機能にもふりかえでき、モーターを共通に使えるようにしたものである。
日曜大工セットのモーターは典型的な多目的利用の例である。一台のモーターで、のこぎり、かんな、ドリル、グラインダーなどに手軽にとりかえられるようになっている。
多目的利用のためには、このように出力、回転速度などいずれも同じ機能でなければならない。扇風機のモーターと真空掃除機のモーターのように基本的に機能が異なるものは、無理をして、たとえ共通にしても賛成できない。

厉射型ヤグラコタツ
MODEL HY-580 100V 400W. ▽81-199
HAYAKAWA ELECTRIC CO., LTD.

ネーム・プレートの例

電気器具の安全性

電気器具を選ぶときは、交流直流の別、電圧、相数、周波数、電力（容量）などその〝戸籍〟をはっきり知る必要がある。そのためネーム・プレートがある。これには製造会社や製造番号も書いてある。

さらに大切なのは▽マークだ。

このマークは電気器具の安全を守るための「電気用品取締法」に適合していることを示すしるしである。

電気器具（法律では電気用品と呼ぶ）には甲種と乙種がある。

甲種電気用品を製造するときは、最寄りの通産局へ登録し、形式認可を受ける。そして、それぞれの基準に適合して製造す

（その1）

品名および形式
○○あんか
AW－64

用途による種類
あんか

温度調節の方式
可変式

（その2）

使用上の注意

(1)乳幼児、身体障害者、病人等が使用する場合は常に使用温度に注意すること。
(2)用途に応じた使い方をし他に転用しないこと。
(3)指定以外の温度ヒューズを使用しないこと。
(4)皮膚の弱い人が使用する場合は直接皮膚にふれないようにタオル、毛布等で包むこと。
(5)電気毛布、電気敷布等の採暖用器具と併用しないこと。

家庭用品の品質表示の例

る。
また、それを販売するときは〒の記号やそのほか所定の表示をすることが必要である。
乙種電気用品の場合は、通産局へ届け出が必要で、販売するときは〶の記号やそのほかの表示が必要である。
甲種と乙種の区別としては、前者は特に危険度の高いものをさす。たとえば、器具の内部で高電圧を使ったり、熱を使い火災の恐れの多いもの、電波障害を発生するものなどがある。
さらに使用方法に関するものとして、水や湿気の多い所、就寝中、屋外で使ったり、子供によって多く使われたり、使用場所がきまっていないものが該当する。

乙種は甲種よりやや危険性の低いものである。
いずれも輸入品に対してももちろん「マーク」の確認が必要である。
このほか、「家庭用品品質表示法」がある。これは器具を使いやすく要点を示すもので、図に示すように、器具の種類ごとに表示内容がきまっている。
ネーム・プレートが技術的内容を示すのに対し、これは使い方を示している。

電化の経済

全くむずかしいテーマである。各人各様の電化方針があるからだ。
そこで共通的な二、三の問題について考え方を紹介しよう。はじめに寿命の話である。
新しく電気器具を購入する場合、その「寿命」がどれくらいかを推定することは経済検討の基本である。
大ざっぱに言って寿命期間(年数)で、購入価格を割れば、大体の比較ができる。
また寿命期間中に、その器具が全額償却できるように計画すれば、寿命が終わったときの金策に困ることはない。
もちろん日進月歩の電化時代のことだ。そこまで考えられないのが本音だが、やはり一応は耐久消費財だし、電気の安全性から見ても、買おうとする器具の寿命のあらましを推定することは

むだではない。
メーカーは器具の寿命推定に血まなこである。寿命によって、ライフ・サイクルが規定されるからだ。さらに、器具を構成する各部品の寿命の協調についてもけんめいである。
一昔前の電気洗濯機を使っていると、まずホーロー引きの鉄板がさびてくる。しかし、ベルトはなかなか頑丈だし、ホーロー引き以外のベース部分の鉄材はいかにも厚くて、丈夫すぎるくらいである。もちろん、スイッチやモーターは安全すぎるくらいだ。
つまり、部品間の協調がとれず、悪く言えばある一部分だけ極端に弱いことになる。
そこで、メーカーは考えて、ホーローがくさって使えなくなった時には、他の部分も同様に寿命が来ている程度に設計し、結局、コスト・ダウンしているのである。
ただ使う方の欲としては、これも程度問題であって、ホーローくらいならよいが、電気スイッチや、冷蔵庫の冷媒チューブなど器具全体の生命や人間への危険につながるものは、やはり適当な余裕を見て当然であろう。
ライフ・サイクルには盲点もある。器具のある部品がたまたま痛んだときに交換品がなくなる場合がある。ライフ・サイクルが終わり、そのモデルが中止になってから、その機種の部品をあと何年間作っておくかは、メーカーの良心にからんでくる問題である。
次に維持費の話である。

器具の種類				1日にこれだけ使うとして		1ヵ月なら	
品名(表示電力)		実際消費電力(ワット)	電流(アンペア)	1日に使用する時間	消電費力量(ワット・時)	1ヵ月の料金	メモ
照明	けい光灯(15ワット)	18	0.34	延べ5時間	5時間 90	47円	
	〃 (20ワット)	25	0.4	〃	〃 125	65円	
	白熱電灯(60ワット)	60	0.6	〃	〃 300	155円	
	〃 (100ワット)	100	1.0	〃	〃 500	258円	
	庭園灯(40ワット)	50		延べ10時間	10時間 500	258円	水銀灯使用
冷房	扇風機(ファン径30センチ)	40	0.5	2時間	2時間 80	41円	6~8畳用
	ルームクーラ(500+45ワット)	650	7.5	5時間	5時間3250	1679円	6畳用
暖房	置こたつ(300ワット)※	300	3.0	6時間	3時間 900	465円	サーモスタットがついているための通電率50%※
	掘こたつ(400ワット)※	500	5.0	〃	3時間1500	775円	〃
	あんか(60ワット)※	60	0.4	8時間	4時間 240	124円	〃
	電気毛布(120ワット)※	120	1.2	〃	4時間 480	248円	〃
家事	洗たく機(160ワット)※	240	3.3	30分	30分 120	62円	
	掃除機(300ワット)	340	3.4	30分	30分 170	88円	
	アイロン(300ワット)	300	3.0	30分	30分 150	77円	
	浅井戸ポンプ(100ワット)	145	3.3		2時間約290	150円	全揚程12メートル以下
	深井戸ポンプ(200ワット)	260	5.2		2時間約520	269円	全揚程12メートル未満
	電気かみそり(10ワット)	10	0.1	5分	5分 0.8	0.4円	
調理	冷蔵庫(80ワット)	140	2.5	夏の場合	約[illegible]時間約1000	517円	容量60~80リットル3人家族用
	電気釜(600ワット)	600	6.0	1時間	1時間 600	309円	1.8リットル用
	〃 (800ワット)	800	8.0	〃	〃 800	413円	2.2リットル用
	トースター(400ワット)	400	4.0	10分	10分 67	35円	
	ミキサー(150ワット)	170	2.1	5分	5分 14	7円	ジューサーも同じ
	電子レンジ	200	12	30分	30分 600	309円	
教養	カラーテレビ	120	1.2	5時間	5時間 600	309円	

●電化プランのための便利表・使用器具の電気料金算出法

実際消費電力(キロワット)×時間×1キロワット時当りの単価（関西電力の従量電灯「甲」の第2段階〈毎月120kWh超過200kWhまで〉の単価16円40銭に電気税5％を加えた額、すなわち17円22銭）

●表のみかた

例1．20ワットのけい光灯について、表示電力20はけい光灯のランプのみの定格が20ワットであることを示す。実際消費電力は安定器の損失を含めて25ワット程度となる。

例2．モーター類では力率が1未満であるため、電流は無効電流を含めて多くなる。

例3．こたつ、冷蔵庫など、間欠的に電気を使うものは、そのための通電率を見込んである。(※印)

例4．実際消費電力(ワット)、電流(アンペア)は実験値の一例である。

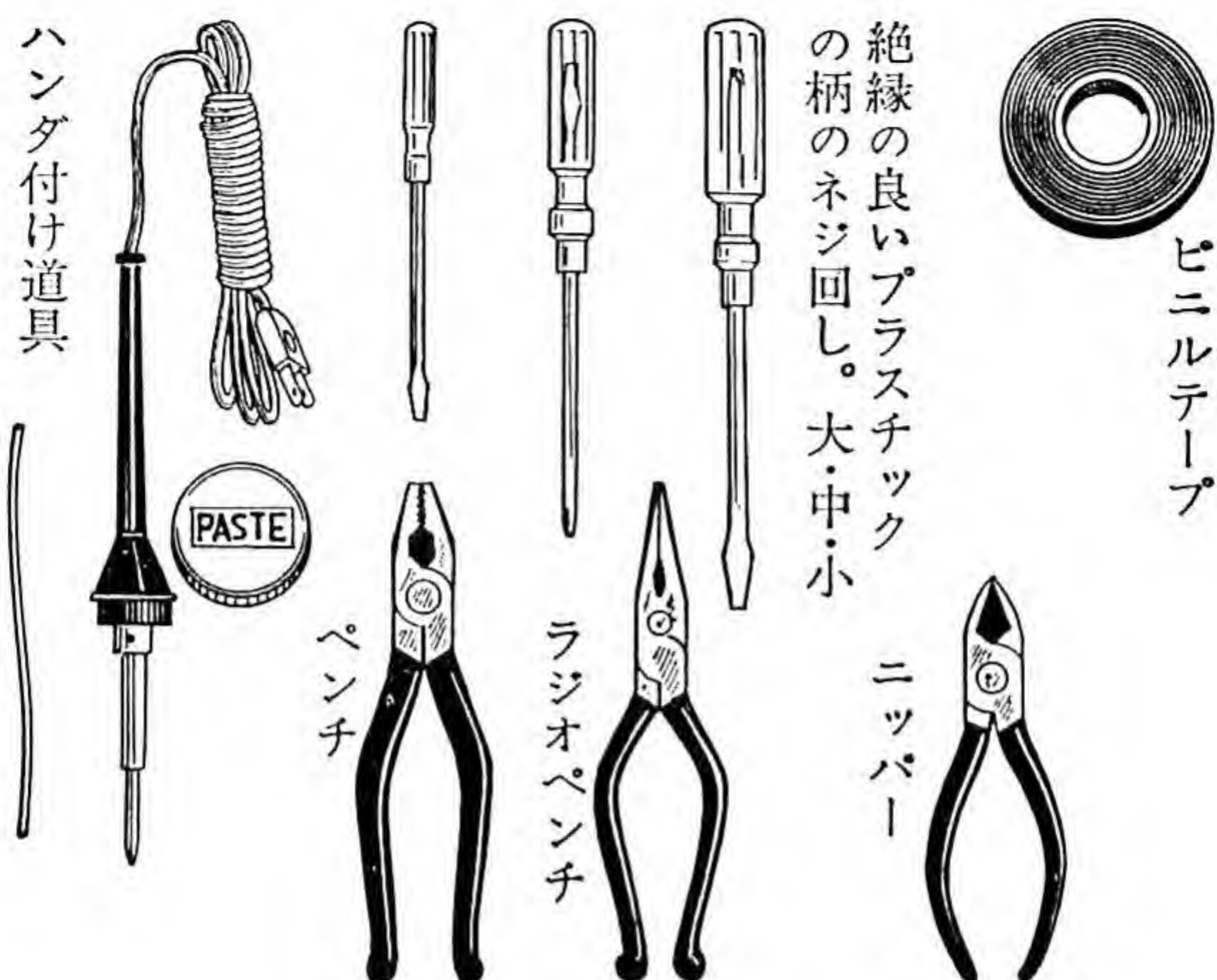
（関西電力資料による）

代表的な電気器気の電気料金の目安

（その後，料金が改訂され，単価30円／kWh を使うと，標準的な金額となる。）

器具の維持費には使用電気代と、修理費がある。
前ページの表は代表的な器具の電気料金の目安である。
修理費は一概には言えないが、消耗品がまず問題になろう。
たとえば、真空掃除機の整流子モーターのブラッシがそれである。

自分でできる電気工事

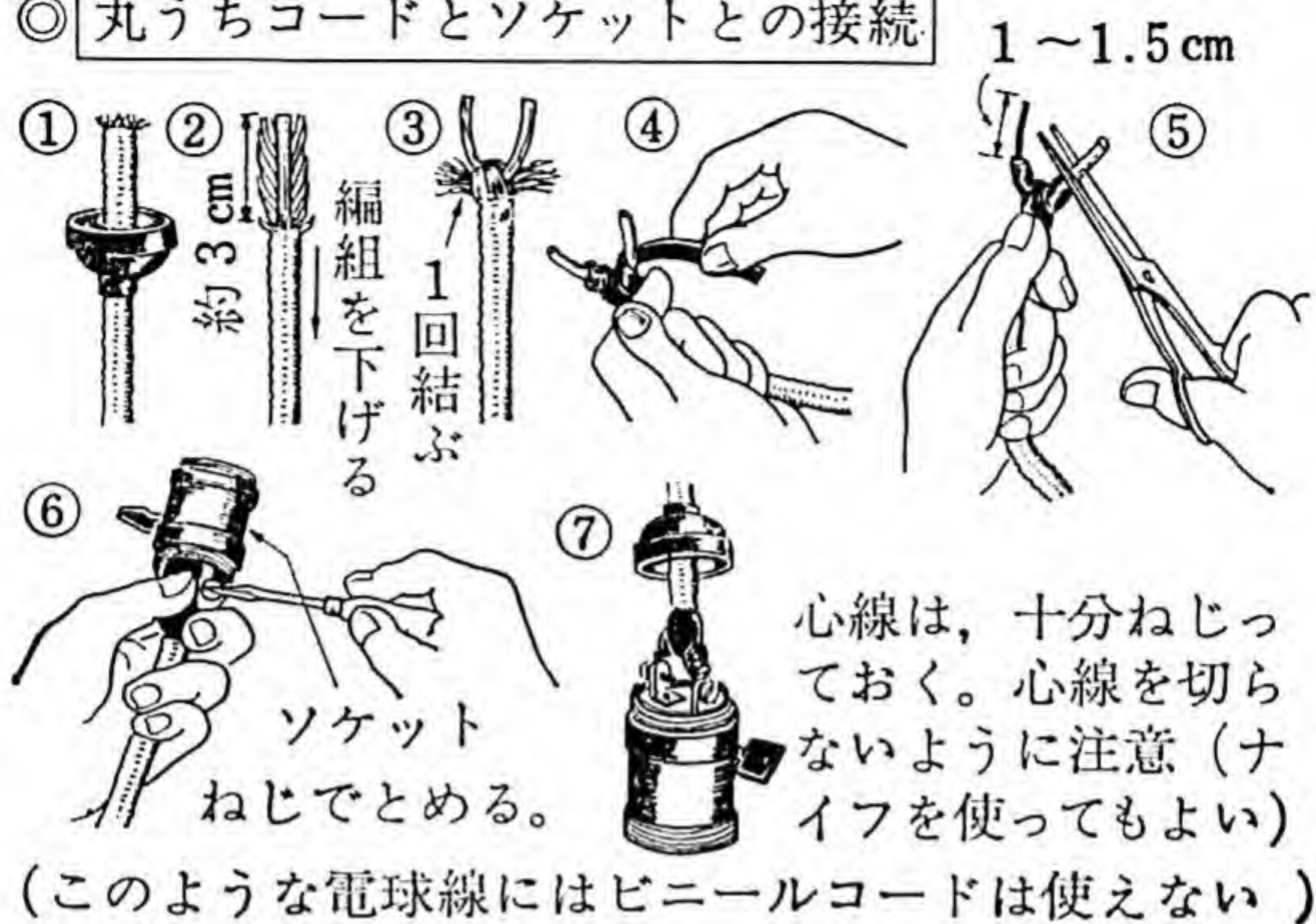
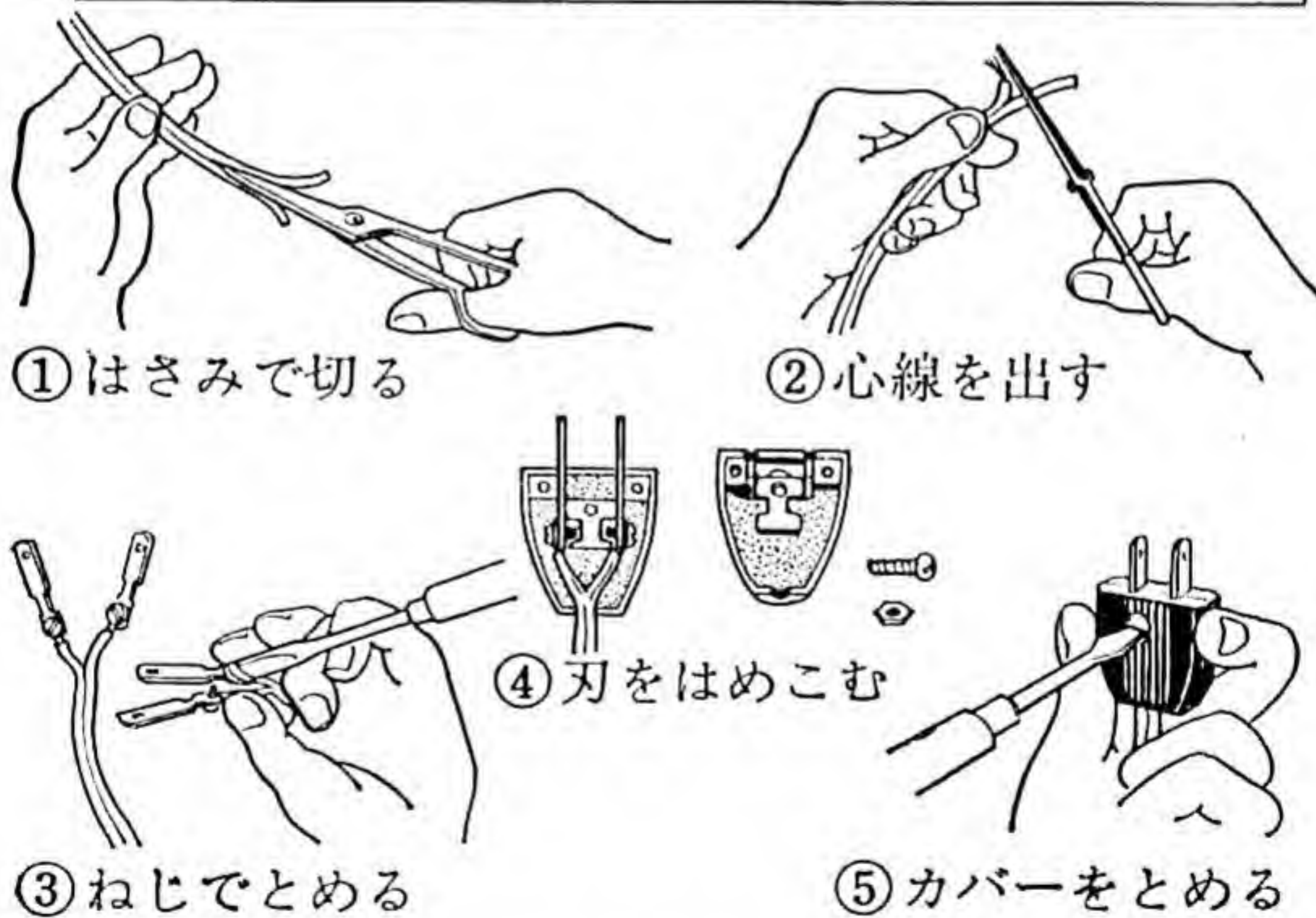
日曜大工が大はやりだ。マイ・ホーム主義者の実用目的のほかに、やはり自分で手をかけるという楽しみがひそんでいる。
市場で一匹の鯛を買うよりはるかに高い金を出して、寒風をついて釣りに行くようなものだろう。
電気の分野でも〝日曜大工〟は大いに結構である。しかし、ものがものだけに、法律でできる範囲がきまっている。
薬局を開くには薬剤師の資格がいるように、電気の主な工事は「電気工事士」でないとできない。
しかし、それほど技術を要しない次のような簡単な電気工事はあなたでもできる。たとえばソケットやプラグや電気器具(屋内配線に直結しないもの)にコードやキャブタイヤ、ケーブルなどを

そろえておけば便利な修理道具

つなぐ作業、ヒューズのとりつけがある。

また一〇〇ボルトや二〇〇ボルトから変圧器で電圧を下げてベルやインターホーンや豆電球などをつなぐとき、低圧側が三六ボルト以下のときは、低圧側の配線作業一切ができる。しかし、もちろん基準によらなければならない。

また、三〇ボルト未満の単独の電気回路の場合（たとえば電池回路）は基準の範囲外で、電気工事士でなくてもできる。

だから、ちょっとしたベル工事など、連続して電気を使わない場合は、電池式が簡単で経済的だし、その上停電時の心配がないので便利である。

図はあなたが家庭で、自分でこのような電気の工事や実験をするために必要な最少

ソケットやプラグへのコードのつなぎ方

種類	使用区分	電球線	けい光灯用つり下げ線	移動電線	水気のあるまたは湿気の多い場所
屋内コード	単心コード	○	○	×	×
	2こよりコード	○	○	○	×
	袋打コード	○	○	○	×
	丸打コード	○	○	○	×
	防湿2こよりコード	○	○	○	○
ビニールコード	単心コード	×	○	×	○
	2こよりコード	×	○	○	○
	平形コード	×	○	○	○
	丸形コード	×	○	○	○

(注) 1. ビニールコードを移動用に使用する場合は、ラジオ・テレビ・扇風機等電気を熱として利用しない家庭電気機械器具または電気スタンドに附属するものに限る
2. コードは壁などに固定して使えない
3. コードとコードを直接つなげない。必ずコード接続器(プラグに似たもの)を用いる

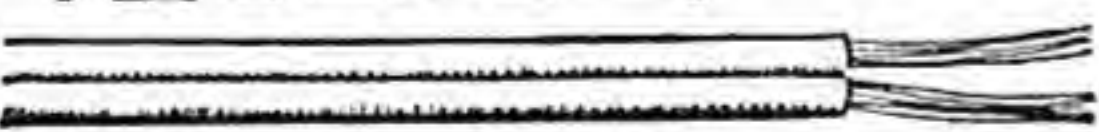
湿気に強く熱には弱い

キャブタイヤケーブル

自家給水や農業用モーターなど水気の多い所に用いる

丸型ビニルコード

電気洗濯機、電気冷蔵庫、電気脱水機などに用いる

平型ビニルコード

ラジオ・テレビ・ミキサー・ケイ光スタンドなどに用いる

熱に強く湿気に弱い

袋打コード

電灯、アイロン、電熱器、電気がま、電気こたつ、電気あんか、電気スタンドなどに用いる

丸打コード

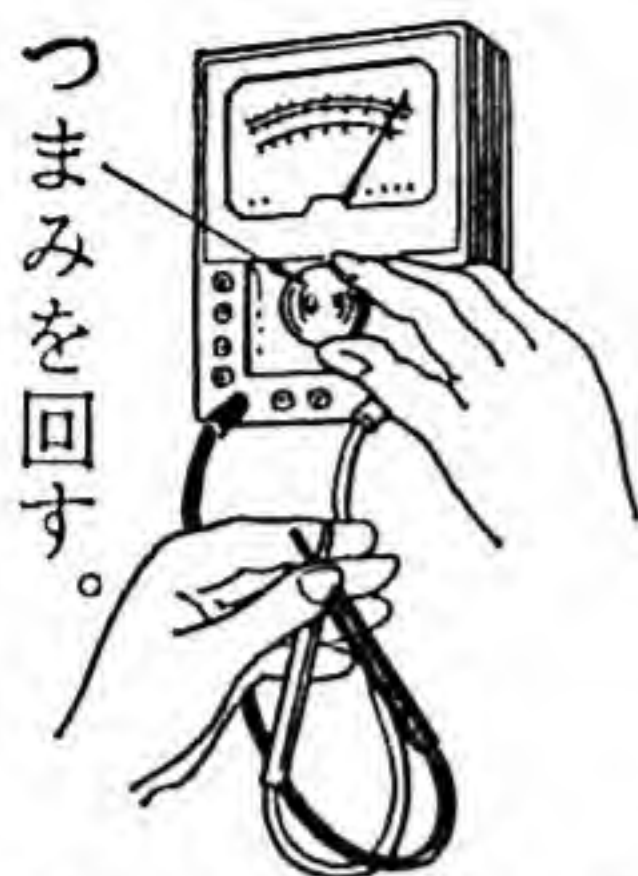
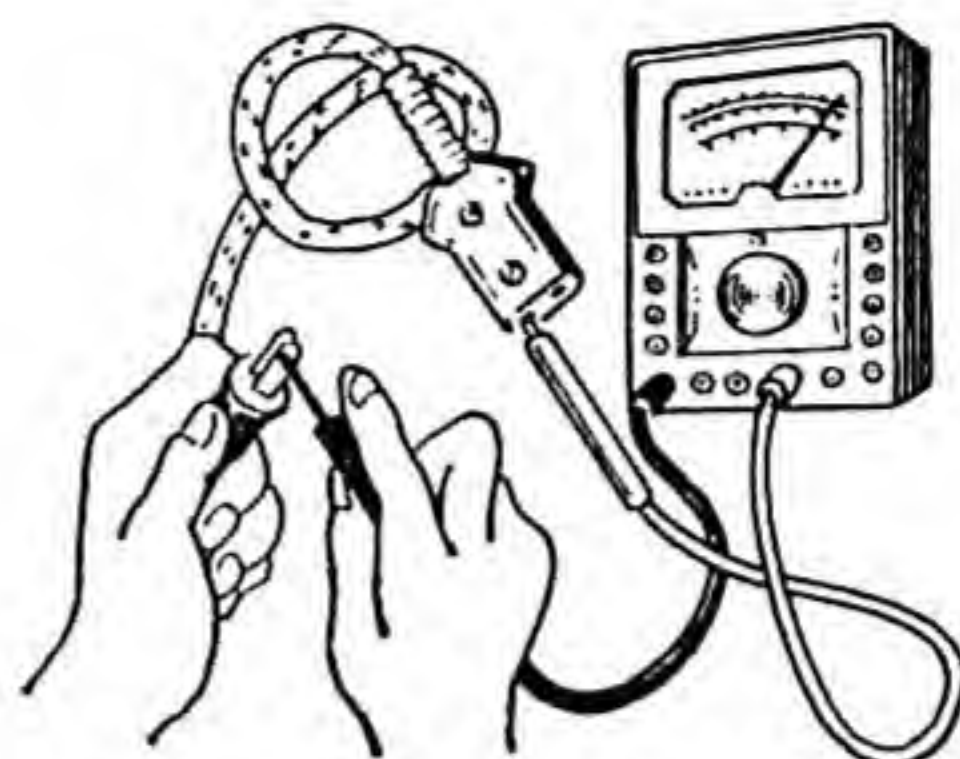
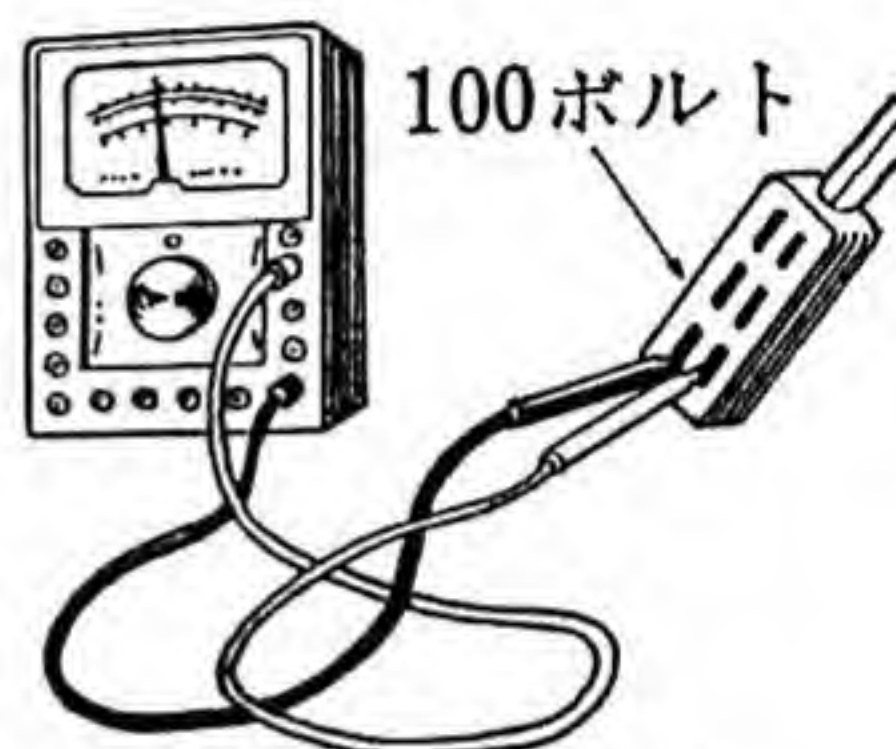
同上

一ばん弱い

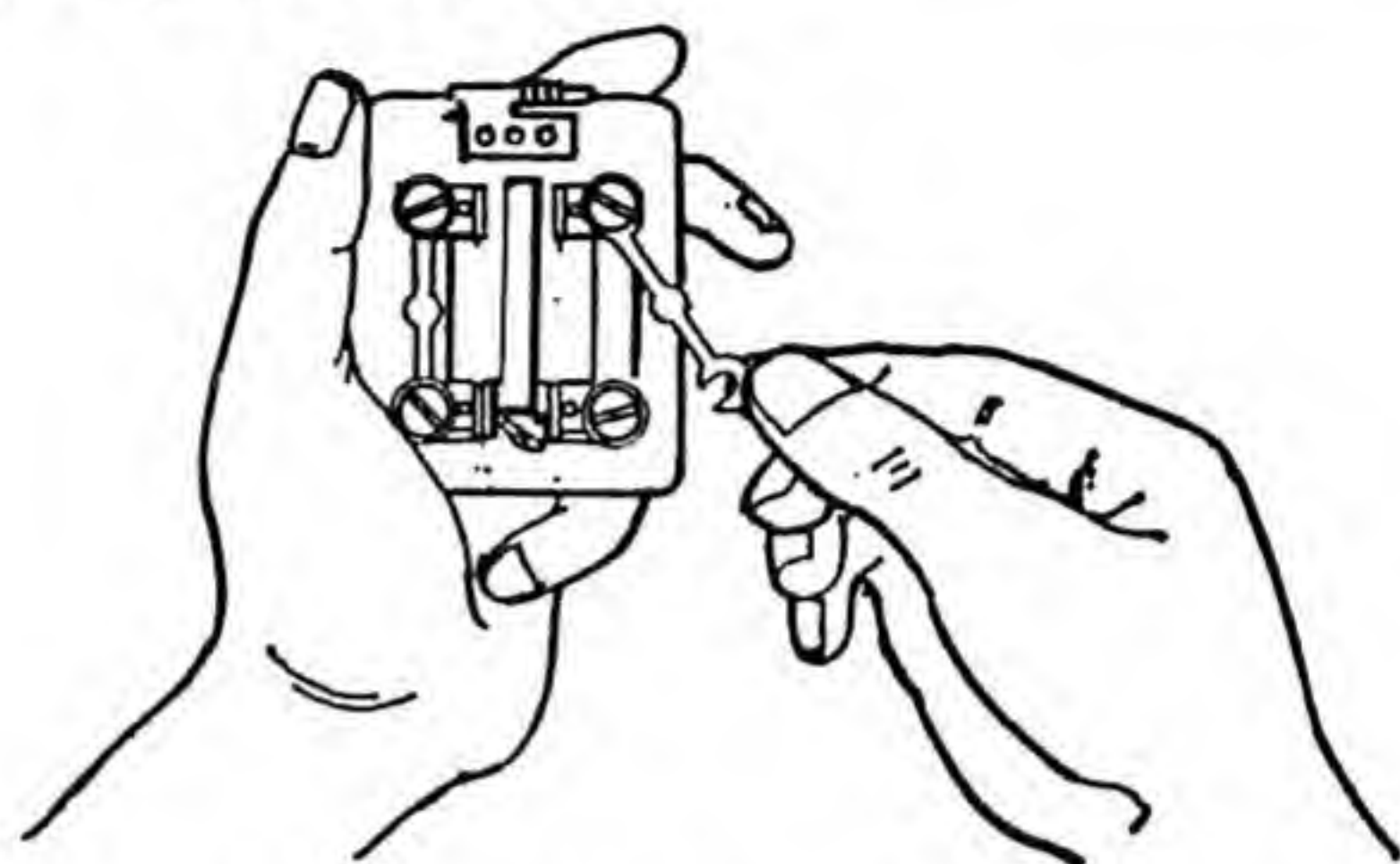
ビニルより線

呼鈴などに使われる弱い線

このほか，耐熱ゴムコードが電熱器具によく使われる。

コードの種類と使いわけ

テスターの使い方

限の工具と材料である。
それでは図によって少し自分で練習して頂きたい。
はじめはコンセントやソケットへのコードのつなぎ方である。
あんかの配線の手直し法で注意するのは、コードの先が過熱しないようにコードの上に必ずアスベスト（石綿）やガラス繊維の糸を巻かなければならないことである。
コードはよく断線する。しかし大体断線個所はきまっていて、器具や、プラグの付け根がよく切れる。
だからその位置を調べるには、まずテスターで断線をしらべる。次にプラグや器具の根元を切って見る。それでだめなら、思い切ってまん中から切って見ればよい。

① まずヒューズの切れた原因をつきとめる。
② 安全器のふたをあけ、強く右に押して、ふたを外す。
③ ふたを手に持って、切れたヒューズを外す。
④ 新しいヒューズをねじの座金の下に入れ、ねじ回しで適当な強さでしめつける。

⑤ ふたを強く右に押してはめ込み、しっかりと閉じる。
⑥ 異常なく電気を使えることをたしかめる。

安全器のヒューズのとりつけ方

次に、コードの選び方や、テスターの使い方や、ヒューズのとりつけ方も、示しておいた。

私の家から道路をへだてて神社がある。毎年七月と十月の二回、例祭があり、にぎやかにご神灯を立てる。ちょうちんの中に一〇〇ワットぐらいの電球をつるすのである。

この場合、電力会社の供給規程の考え方によって、道路をまたいで勝手に電線をはることはできないから、いつも私の家の門灯を利用することにしている。

それでは夜店の配線はどうか。

この場合も又、できるだけこの考えが適用される。

記号	器具名	説明	備考
○	天井灯	一般に天井灯を表わす場合に用いる	(1)電球のワット(W)数を傍記し、けい光灯はFを、サークラインはFSをWの前につける。 (2)けい光灯の向きを示すときは▭を重ねてかく。
⊖	ローゼット	天井にローゼットをつけてコードを下げるもの	
◎	はとめ	天井に「はとめ」を使ってコードを下げるもの	
(CL)	じかづけ	天井にじかに取りつけるもの	
◉	埋め込み	天井に埋めこんで取りつけるもの	
◐	壁灯	一般に壁に取りつける灯具に用いる	天井灯に同じ。
⊗	不滅または非常用壁灯		
(:)	コンセント	壁以外の場所につけるコンセント	20A以上は傍記する。
◐:	壁付15A用コンセント	壁に取りつける15アンペア用のコンセント	
◐:₂	2口コンセント		
◐:₃P	3極アース付コンセント	洗濯機や冷蔵庫用に…	
(:)J	日本間用コンセント		

記号	器具名	説明
●	スイッチ	壁に取りつけるスイッチ
●₃	3路スイッチ	2カ所で点滅できるスイッチ
●₄	4路スイッチ	プルスイッチは●P
(∞)	換気扇	換気扇や天井扇風機を表わす
(M)	モーター	揚水ポンプなどの固定モーターを表わす
□	ベル	呼りん用のベル
□	ブザー	呼りん用のブザー
⊡	押ボタン	呼りん用の押ボタン
(T)B	ベル用変圧器	
▭	分電盤	安全器などをまとめてつけた盤
WH	電力量計	メートル器
—	配線	—：2本 ⫽：3本

配線図の記号

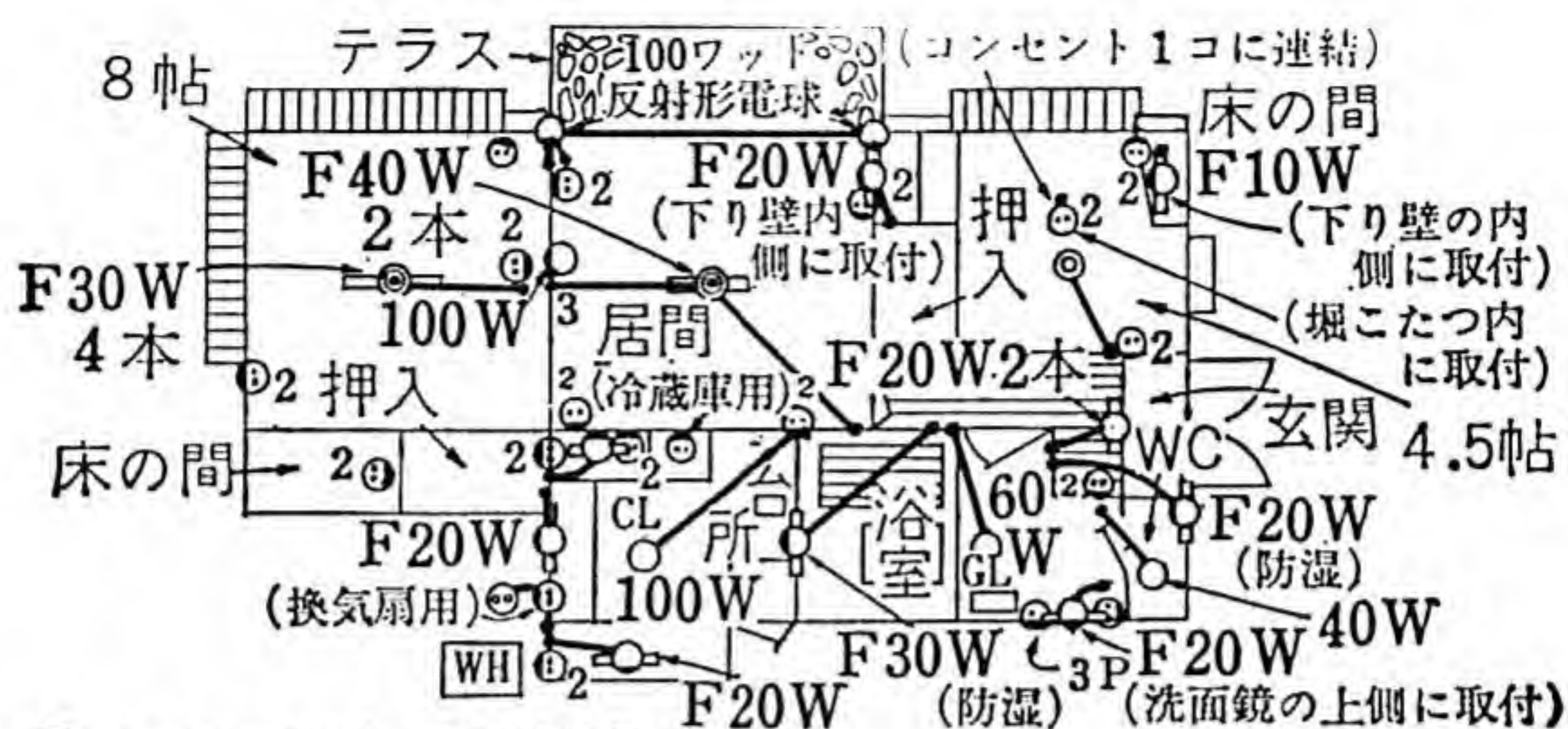
配線プランの知識

電気工事の大部分は電気工事士の資格がないとできない。

しかし、マイ・ホームの間取りをきめるのは使う方のわれわれ自身であるように、電気を使うのもわれわれだ。だから、コンセントやスイッチや照明の位置や数や容量は自分で決めるつもりで取り組むことである。

そのためにはある程度配線の知識が必要になる。

停電対策

停電が起こると困るのは結局われわれ使用者側である。そこで自分自身の自衛のために、二、三〝停電対策のちえ〟を紹介しよう。

◎コンセントの取付高さ

1．和室はたたみから約10cm　2．洋間，廊下は巾木　3．台所はすい事台上約15cm　4．換気扉用は窓枠の上換気扇の近く　5．冷蔵庫，洗たく機用，洗面鏡用は床上約 1.2m

住宅の配線の例。コンセントの取り付け高さは場合によって違う。スイッチの取り付け高さは床上 1.2m

まず停電の原因だ。

東京電力の統計によれば、台風、雷、塩害などの自然現象による停電は全体の約二四パーセントを、電力会社以外の一般の看板、材木などが配電設備に接触した場合、テレビ・アンテナが倒れた場合、自動車の電柱衝突事故などは、全体の約三四パーセントを占めている。

このように電力会社自体の原因以外の停電事故が比較的多いことが分かる。

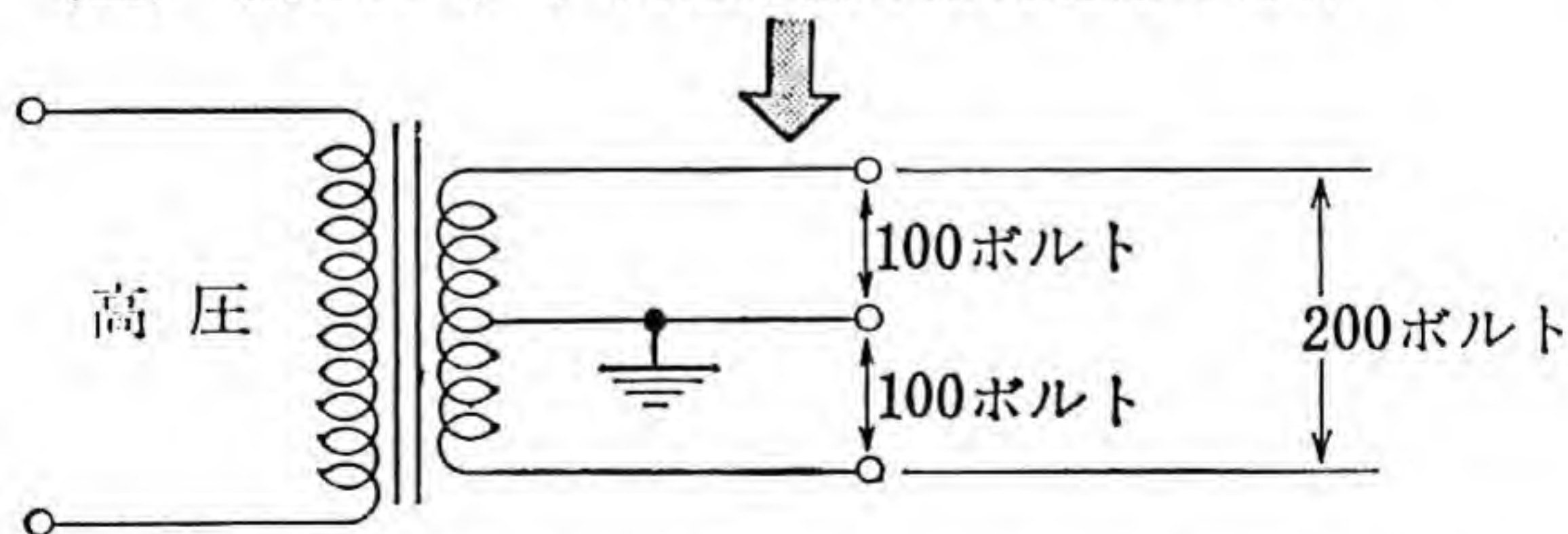
それだけ事故原因が各所に分布し、復旧に時間がかかることが多いことにもなる。

次に家庭に停電が起こったら、一分間そのまま待つ方がよい場合がある。配電用変電所の出口のしゃ断器には再閉路装置というのがあって、停電後一分間たったら一度

畳の枚数	2口コンセントの数	
	最　低	できれば
3	1	1
4.5	1	2
6	2	3
8	2	4
10	3	5

室別のコンセントの必要な数

家の広さ	理想的な幹線の太さ	最低の幹線の太さ
50 m² (15坪)以下	2.6mm (2.0mm)	2.0mm (2.0mm)
66 m² (20坪)以下	3.2mm (2.0mm)	2.6mm (2.0mm)
100 m² (30坪)以下	14 mm² (2.6mm)	3.2mm (2.0mm)
132 m² (40坪)以下	14 mm² (2.6mm)	14 mm² (2.0mm)
165 m² (50坪)以下	22 mm² (3.2mm)	14 mm² (2.6mm)

(注) 太さの( )内は単相3線式配線の場合

家の広さと幹線の太さ（幹線とは，引込線の取り付け点から屋内の分電盤までの配線をいう）

家の広さ	理想的な回路数			最低必要回路数		
	電灯専用	コンセント専用	計	電灯専用	コンセント専用	計
50 m² (15坪) 以下	1	2	3	1	1	2
66 m² (20坪) 以下	1	3	4	1	1	2
100 m² (30坪) 以下	2	3	5	1	2	3
132 m² (40坪) 以下	2	4	6	2	2	4
165 m² (50坪) 以下	2	5	7	2	3	5

普通1分岐回路で同時に使えるのは1.5キロワットまでで、家庭電化を充実するには、家の広さや使用する電化器具により分岐回路をふやし、同時に電灯回路とコンセント回路を別にし、特に大きな容量の機器を使う台所には専用のコンセント回路を作っておくことも考えられる

家の広さと分岐回路数

しゃ断器を閉じる。その間に事故の原因がなくなっていればしめたもの。まだ事故が続いていてもう一度しゃ断器が自動的に開いても、もともと（損はない）というりくつである。

再閉路方式は、配電線だけでなく、もっと高い電圧の送電線にもどんどん使われている。送電線の事故には、三本のうち一本の電線に木の枝がひっかかったり、鳥がとまったりすることが多く、またそれが原因でがいしに一時的にアーク地絡が起こったりする。

そのため、一時停電して、そのあと電圧をかけると、そのまま送電が続けられることが多い。

もっともこの場合は一分もとめていると

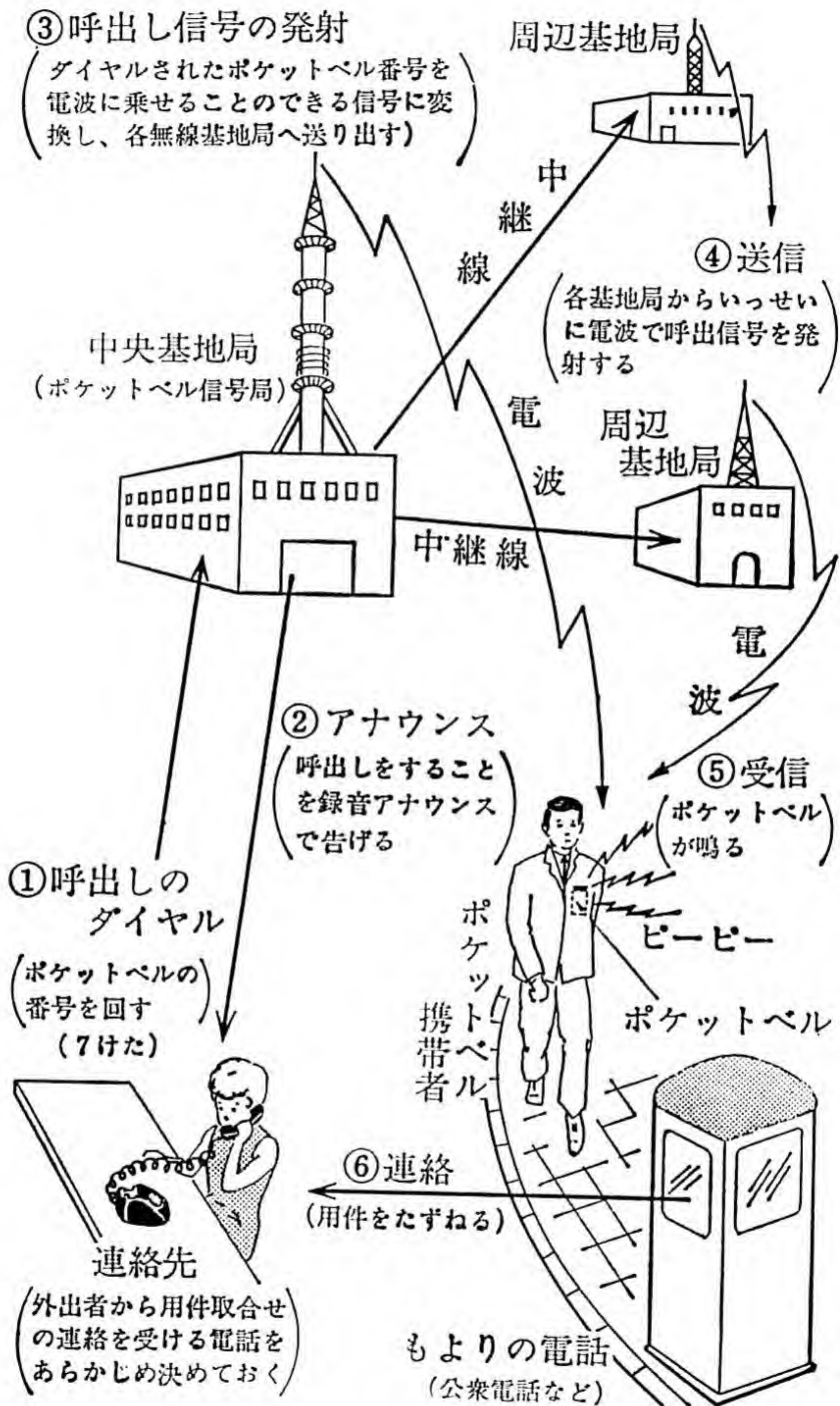
大変なので、一秒未満の単位である。
世の中のトラブルには冷却期間というのがある。物事が紛きゅうしたとき、一時、その問題に手をふれずにおくと、案外「時」が解決してくれることが多いものである。
つまり、再閉路装置によって、一時的に「時」をかせいでいるわけである。
系統全体にわたる大きな停電事故は、なかなか予知しにくいものだ。しかし、電力会社はレーダーで雷の起こりそうな所をしらべ、万一そこに落雷してもできるだけ系統全体の電力供給に影響を与えないように、その方面の送電線の負荷を少なくするとか、予備の発電所をあらかじめスタートしておくとか考えている。
〝塩害〟もそうだ。昭和二十八年九月の台風十三号により、送電線のがいしの表面が塩気を含んだ風でぺったり塩分がつき、絶縁が落ちたことがある。このような雷と塩害の停電はある程度予知できる。

9　未来の電化

未来ブームである。これに輪をかけて博覧会ブームである。
しかし、やたらに先ばしって「未来」ということばを振り回すのはあまり感心できない。われわれ自身がこれから、本当に人間らしい生活ができるように、各人はっきりした目標をつかむことが必要であろう。
したがってその意味で、ここでは本当に人間社会の伴侶としての電気の利用法を考えることにする。
また、この章では、これまで読者と共に考えてきた電気の本質についての知識を磨き上げることにしよう。
また「未来の電化」について技術的に細部にわたって述べる余地はない。その意味で若干、文明批評的なニュアンスになることをお許し頂きたい。

ポケットベル

大変な時代になったものだ。旦那さんも、ちょっと「帰りに一杯」というわけに行かなくなって来た。
ポケットベルの出現である。
これは〝動く電話機〟と言われるもので、電電公社が昭和四十三年七月から東京でサービスを

③呼出し信号の発射
(ダイヤルされたポケットベル番号を
電波に乗せることのできる信号に変
換し、各無線基地局へ送り出す)
周辺基地局
中
継
線
④送信
(各基地局からいっせい
に電波で呼出信号を発
射する)
中央基地局
(ポケットベル信号局)
電
波
周辺
基地局
中継線
電
波
②アナウンス
(呼出しをすること
を録音アナウンス
で告げる)
⑤受信
(ポケットベル
が鳴る)
①呼出しの
ダイヤル
ポケットベル携帯者
ピーピー
(ポケットベルの
番号を回す
(7けた)
ポケットベル
⑥連絡
(用件をたずねる)
連絡先
(外出者から用件取合せ
の連絡を受ける電話を
あらかじめ決めておく)
もよりの電話
(公衆電話など)

ポケット・ベル・サービス

始めた。好評でやがて日本の主な都市に普及されそうな勢いである。
東京の場合、都区内二十三区をサービス区域としてスタートした。スタート時の無線基地局は都内八個所の電話局にあり、全局同時に呼び出し信号を発射する。送信出力は二五〇ワット、周波数一四二・三メガヘルツである。
こうなると、いよいよマイ・テレフォン時代の出現で、教育制度の根本的改革にもつながりそうである。
そういえばトランシーバー（市民ラジオ）も、別の用途に積極的に使われ出した。
昭和三十六年に市民バンドが微小電力の送信機に開放されてから、トランシーバーの利用が急に広がって来た。
出力は〇・五ワット以下で、通達距離は都市で約一キロメートル、郊外で二キロメートル程度で、山の峰々では一〇キロメートル以上も届く。
周波数は二七メガヘルツ付近の一一波である。
これは通信機としての届けがいる。セットについている書類に必要事項を記入してその地方の電波監理局へ郵送すればよい。交信には二台のセットが必要であるが、免許は一人がとればよい。
トランシーバーは電池の取り換え以外は、中身をさわってはならない。そのため、メーカー側

で封印してある。

テレビ電話

テレビ電話が盛んに宣伝されている。もっとも実現にはチャンネルの割り当てが問題になるので相当の対策が必要ではあるが。

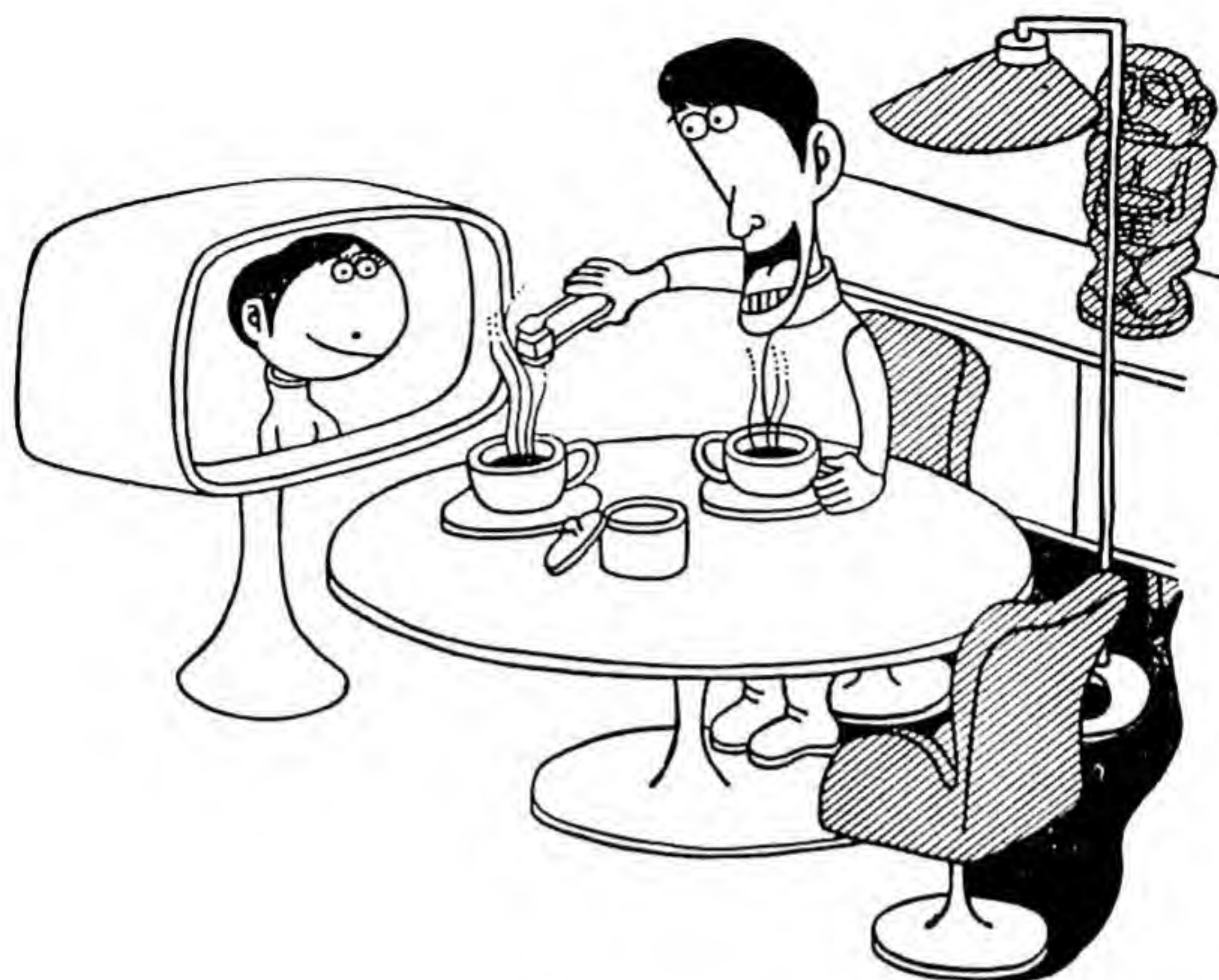
構造や、技術面については従来の白黒テレビと電話との組み合わせにすぎない。

「ピクチュア・フォン」のニック・ネームで、一九六四年にニューヨーク〜シカゴ〜ワシントン間の公衆電話にはじめて実現したテレビ電話は大変な評判である。

これが普及すれば、話す人の表情まで読みとれるし、電話でちょっと品物を注文する場合も、断然威力を発揮するだろう。

ただ、はじめのうちは、かなりまごつくかも知れない。従来の音声だけの電話にもかなりの魅力と特長があるからだ。つまり、相手の顔色を自分なりに想像できること、相手の気持ちのニュアンスを一応考えずに情報を伝えられるからである。

それに独特の電話の呼び出し音による緊張感とそのあとに続く受話器の奥の声の主……といった恰好の「舞台装置」にも捨て切れぬよいさがあるからだ。

電話で話し合いながら、手ぶり一ぱい、愛きょうたっぷりの人。「どうも裸で失礼します」と

「ぼくだけお茶を飲むのも気が引けて……」
などということも，テレビ電話では出てこよう

いう人。……これらの人々は、テレビ電話にどのようにとりくむか、それは見物であ
る。

無線送電

先述のように電波を「遠距離変圧器」の一つと考えると、当然エネルギーとして使用する電力が無線で送電できないかという話になる。

理論的にはこれは夢ではない。

しかし、遠距離だと、どうしても損失が大きくなるから、まず自動車の電源のように道路に埋めた地下ケーブルから送信し、そのすぐ上を走る自動車の受信コイル（アンテナに相当）で受けて、それで電動機を回すような、近距離送電が考えられるだろ

う。〝高周波自動車〟がそれである。
遠距離でも、有線送電のできない人工衛星への無線送電は、効率の問題を度外視しても、十分に可能性のあるテーマとなりそうだ。
しかし、現状では遠距離送電の効率は相当低く、全体として〇・一パーセントにも満たないだろう。
また、一般家庭にまで無線送電することは、公害問題や、実際の技術的問題から恐らく不可能に近いだろう。
それよりも、ひょっとすると、小型の原子炉発電セットや燃料電池（後述）を、工場や学校や病院などにすえ付ける可能性の方が大きいかも知れない。
それにしても未来の送電は、超高圧直流送電と無線送電の二つの競合といえる。
シベリアの電力を海底直流ケーブルを通じて樺太（サハリン）へ、それから北海道、本州へと言った直流連系も今日では夢ではない。

新型送電

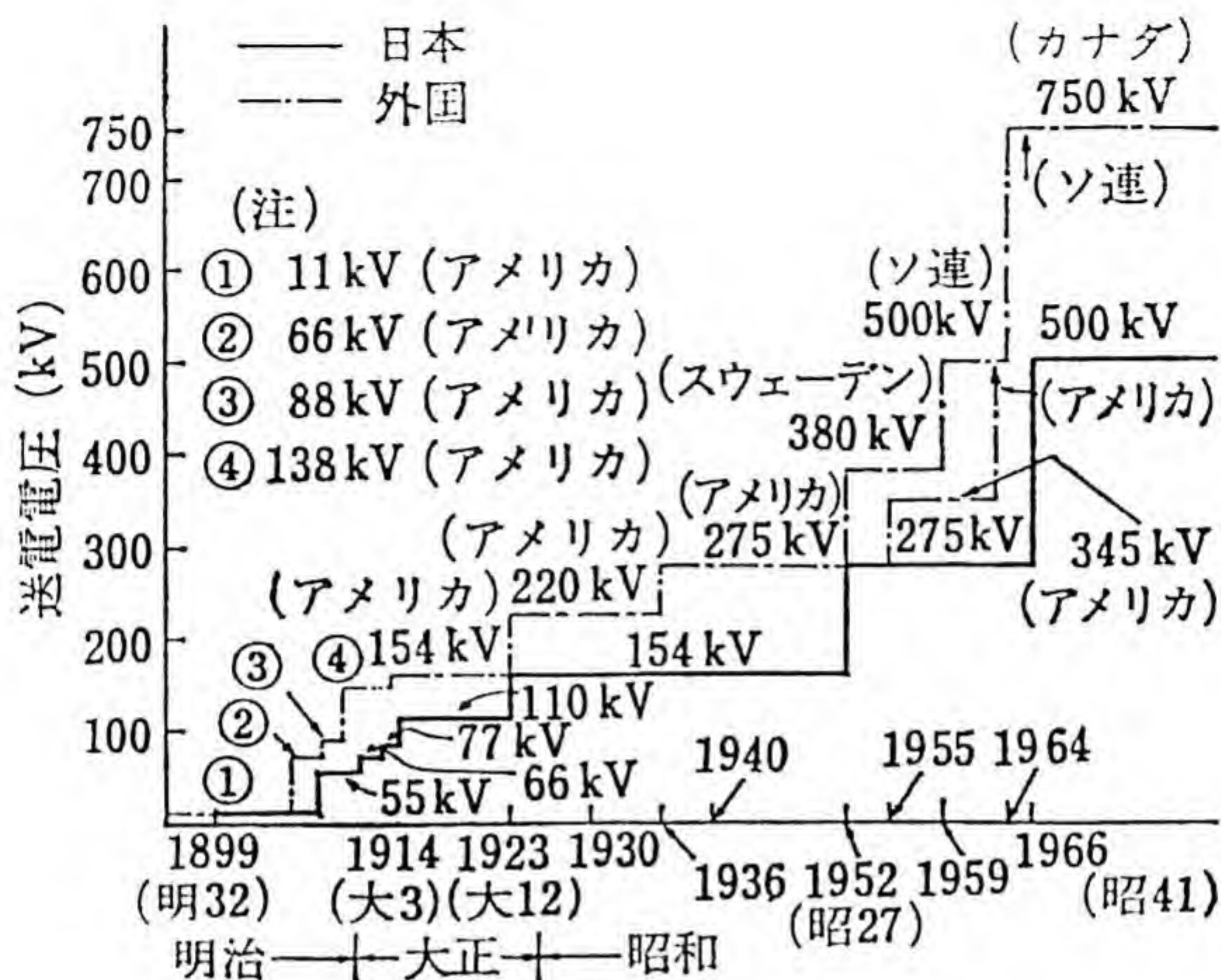
電力の輸送、つまり送電が金属導体の仲立ちで行なわれる限り、特に未来に飛びはなれた要素はない。しかし、増加する需要に応じて送電部門の活躍の範囲はますます広がっている。

その内容は、先述の直流送電と五〇〇キロボルト以上の超々高圧送電である。直流送電の大きな利点は先述のとおり、交流での同期失敗の問題がないことと、絶縁物の利用率がよいことである。

しかし、電圧を自由に変え、回転機械として電気を利用するために、今日の進歩した電気の負荷設備を現用の交流から直流に置きかえることはまず不可能に近い。そこで、必ず交流直流相互間の変換装置が必要になる。これは一種の整流器が主体になる。この価格と運転の問題があるので、送電距離がある範囲をこえると直流の方が有利になる。

また、海峡横断などで、ケーブルを用いるときは直流は特に有利である。それは先述の交流電圧の波高値の問題のほかに、交流ではケーブルの中の導体のまわりの絶縁物に充電電流が流れ、そのため相当の損失が生ずることである。つまり電子レンジの中の食品が加熱される原理である。直流ではこんなことはない。

もう一つ大切なことがある。しゃ断器の問題だ。交流では電流がひんぱんに零点を通過するので、その瞬間に切れる。直流ではそうは行かない。いつも流れ放しだから、強制的に切ることが必要になる。だから各国でその開発研究が進められている。

とにかく、このような背景の下で、長距離、大電力輸送のために、次のステップである七〇〇キロボルトから一〇〇〇〜一五〇〇キロボルトの電圧の採用が検討されている。そのときの送電

日本と外国の送電電圧の変遷

の形体の本命は交流か直流か。

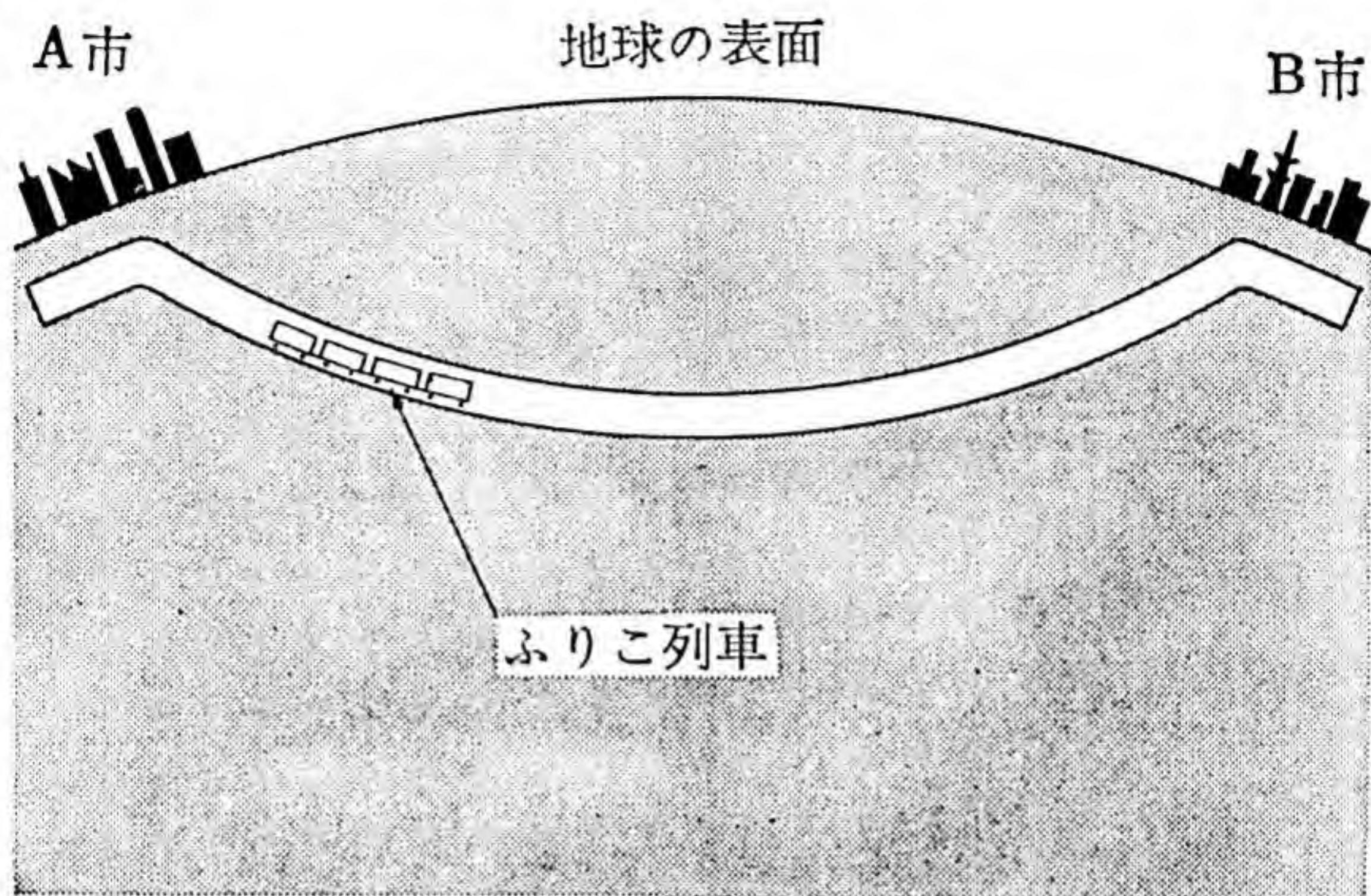
新型送電の世代に向かって、エジソンの時代の「交流対直流の戦争」が、再び始まっているのである。

ふりこ鉄道

新幹線が海外の注目を浴びている間に、世界の鉄道界は続々新型鉄道への研究を続けている。

その対象範囲は短距離通勤列車、長距離列車、空港と都心の間の高密度の往復鉄道など、バラエティに富んでいる。そしていずれも、高速と輸送エネルギーの節約をねらっている。

この両方の目的にマッチした愉快な例がある。それは「地球の重力」の利用であ

る。

ふりこ鉄道の構想

今、図のように、A、B両都市をトンネルで結ぶ。Aを発車した列車は地球の重力によってどんどん加速する。AとBの中間点から後は反対に重力がブレーキとして働き、Bでちょうど停止するというあんばいである。

まさつその他の動力の損失があるから、これを補給するためには、電気エネルギーを有効に使うことが必要になる。

たとえば真空列車。トンネルの中を真空にし、その吸引力で列車をスタートさせる。また、A、Bの両端だけリニア・モーター（後述）を用いて、始動、ブレーキに用いることも考えられる。

ふりこ鉄道は、まず都心と空港の間のよ

うに輸送密度の高い鉄道を高速で結ぶのを実現するのに使われるかも知れない。そして、これは、輸送需要がふりこ鉄道の両端に集中していて、途中はノン・ストップであることが条件である。

一方、この小規模なものは、遊園地にもできるだろう。

さらに、現在エア・シュートで取り扱っている程度の書類や、郵便物も十分にその対象となろう。ビルとビルとを結ぶケースも当然考えられる。

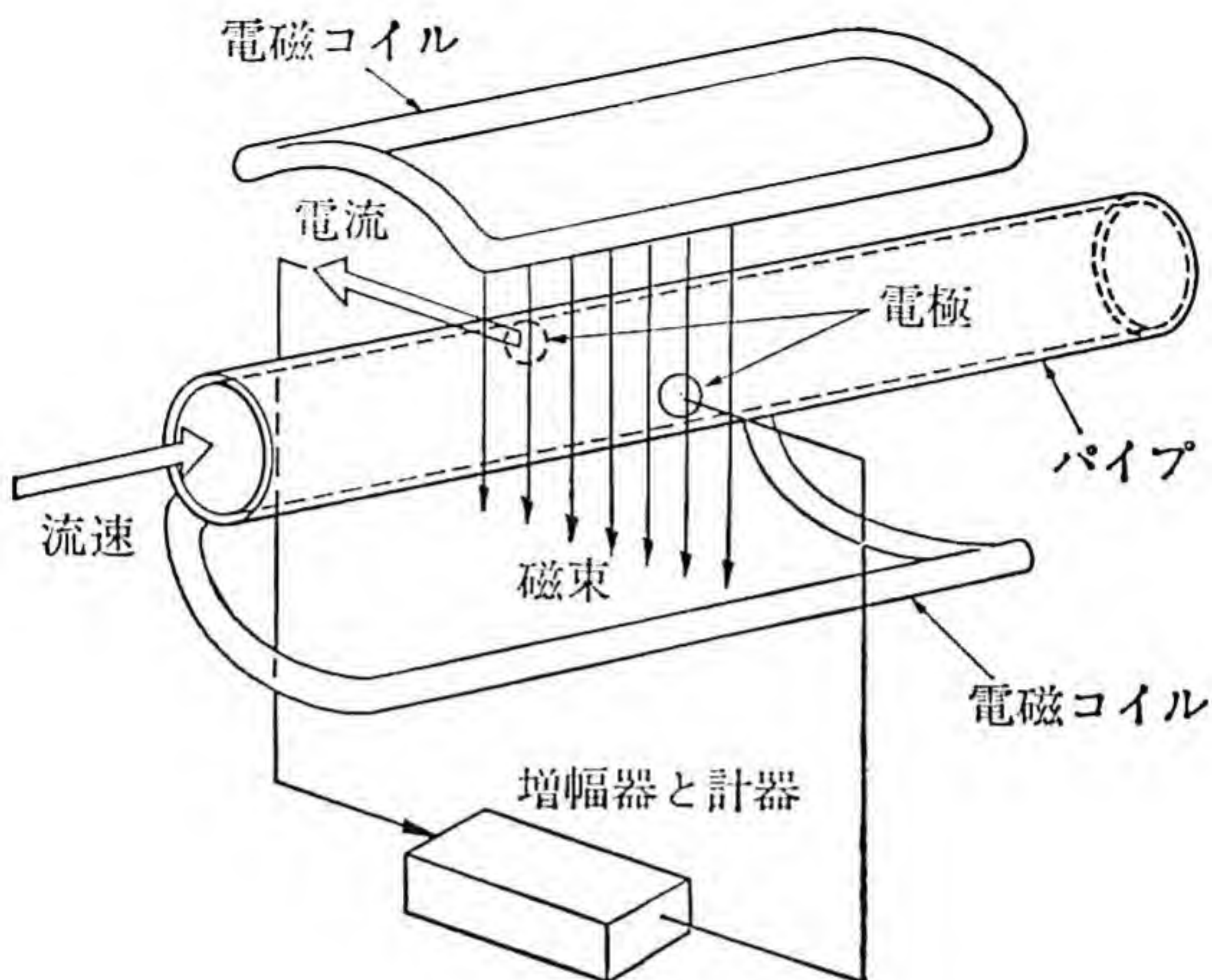
電気エネルギーを有効に使うためには、電気の得意な方法を積極的に導き出し、不得意な分野を他の方法でカバーすることだ。それと同時に我々のまわりの自然エネルギーやそのもとである太陽熱、太陽光、地球の重力、風力、海の表面波などを少しでもうまく戦列に並ばせることも必要で、その一例が、ふりこ鉄道である。

未来の電化

リニア・モーター・カー

「フレミングの左手の法則」により、電気エネルギーを力学エネルギーに変換できることは先に述べた。

それは回転力がモーターとして使われて来たが、それを直線運動として取り出しても原理は同じである。

リニア・モーター・カーは、車輪とレールとの間の粘着抵抗にたよる鉄道の速度限界である毎

電 磁 流 量 計

時約三〇〇キロメートルを突破するために、各地で研究されている。

リニア・モーター（直線式モーター）は普通の交流誘導モーターを平らに伸ばして直線状にしたものだ。つまりステーターとローターとをそれぞれ板のように引き伸ばし、ローターの役目をする銅板かアルミ板を軌道の中央に据え付ける。ステーター（多数のコイルをつないだもの）は、軌道上の導体をはさみ込むようにする。ステーター側に電流を流すと、軌道側に電流が誘導され、それと磁束とで生ずる力によって、リニア・モーターとなる。

このように列車は、結局磁力によって直接動かされるから、レールと車輪との間の粘着抵抗は利用されず、時速五〇〇キロメ

ートルくらいは容易に実現できる。

この場合、車体は磁力で浮き上がっている。

ところで、リニア・モーターの原理自体は特に目新しいものではない。たとえば、将来の高速鉄道では、レールに渦電流ブレーキを使おうというアイデアもある。これはレールに接近して直流電磁石をぶら下げたようなもので、従来形のブレーキをかけるときの車輪のからまわりをなくしている。

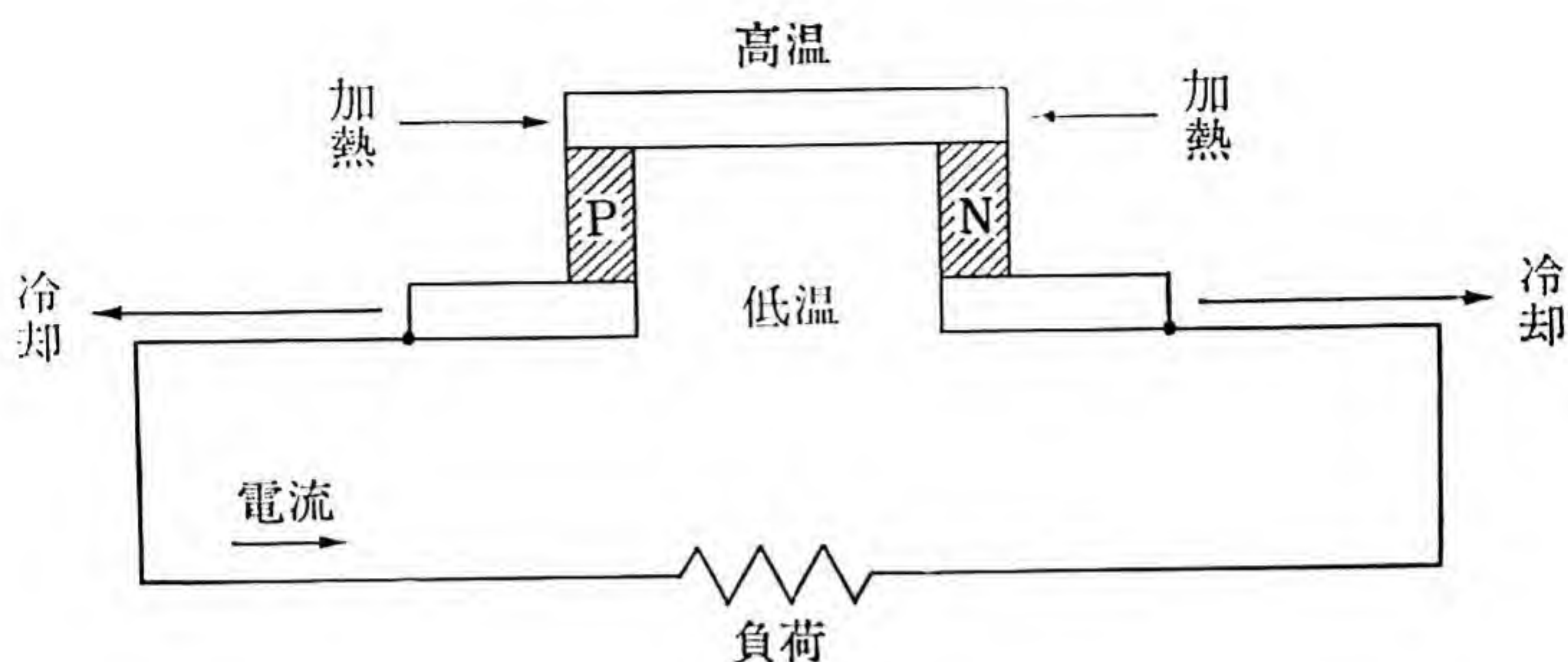
リニア・モーターやリニア発電機は、これからの技術革命の本命である。

電磁流量計はパイプの中を流れる水量を電気的にとり出して測定するもので、一種のリニア発電機である。

パイプを上下にはさんでコイルをとりつけ、その磁束とパイプの中の流水（導体に相当する）とによって「フレミングの右手の法則」の方向に電流が流れる。この微弱な電流を増幅するわけである。

上、下水道によく用いられる。

後述のMHD発電もこれと同じりくつである。

熱→電気直接発電

半導体を用いる熱電気発電

従来の発電所は、必ずタービンと発電機がごうごうと音を立てて回転しているのが相場である。

ところが、最近、回転力（力学エネルギー）を経ないで熱エネルギーから直接電気エネルギーに変える装置が積極的に開発されている。

その一つは熱電気発電、もう一つの方は熱電子発電だ。よく似た名前だが原理は大分違う。しかし、いずれもずっと昔にりくつは発見されている。

まず熱電気発電。一八二一年に、ドイツの科学者ゼーベックが、二種の金属をつないで一端を熱すると、他端に電気を生ずることを発見している。

材料には特殊合金とセラミック材料を利用したものがある。材料の一端を熱すると、他の冷たい端へ電流が流れ、一六〇〇度Cで最良の効率が得られている。

熱効率は約一〇パーセント程度であるが、将来は三〇パーセント程度に高まるものと期待されている。

次は熱電子発電。この原理は一九一五年に考えつかれた。構想は最もなじみの深い二極真空管と同じである。

高温の陰極と低温の陽極を真空中または低圧のセシウムガス中におくと、二極真空管と全く同じように電流が流れるから、この方法で発電できる。

つまり陰極から熱電子を放出するので「熱電子発電」と呼ばれる。

陰極を高温に保つため、普通、太陽熱、放射性同位体（アイソトープ）の崩壊熱、核分裂の熱などが利用される。

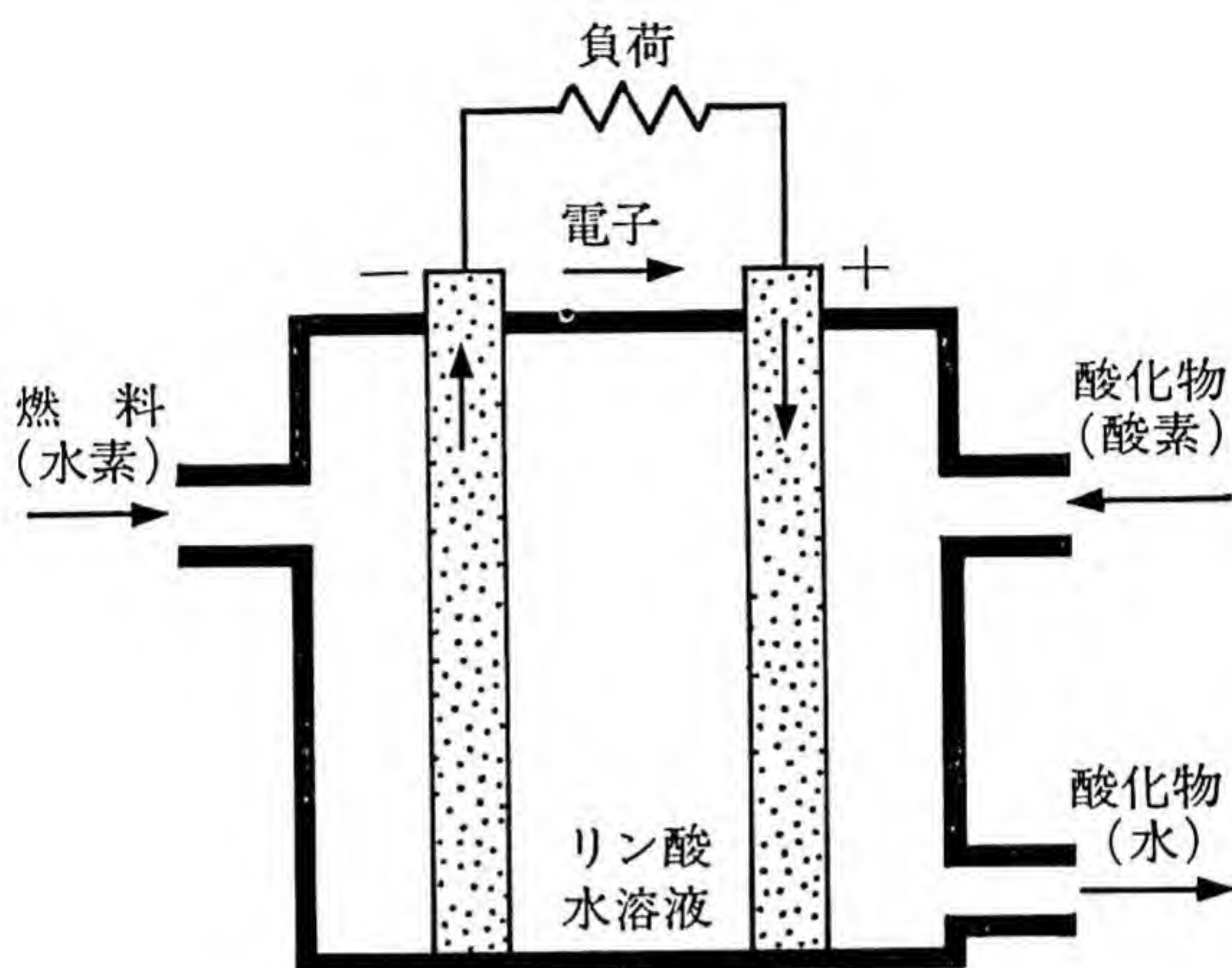
熱陰極から熱電子を放出するには、陰極を一〇〇〇〜二〇〇〇度C位の高温に保つことが必要である。たとえば一一〇〇度C程度の高温で二五〜三〇パーセントの効率が得られ、将来は五〇パーセントも可能と言われる。

これらの方式は低圧の直流発電であるが、交流発電についても研究が進められている。

特殊電池

その本命は燃料電池である。

宇宙ロケットに盛んに用いられている。

従来の電池と同様に化学反応によって、化学エネルギーを直接、電気エネルギーに変換するも

燃料電池の例

のだ。ただ、従来の電池は、反応物質が消耗すると、外部から電気エネルギーを加えたり（蓄電池）、電池自体をとりかえたり（乾電池）するのに対して、燃料電池は外部から燃料と酸化剤を連続的に供給する。だから、「電池」という名前は必ずしも適当ではない。

変換効率は理論的には一〇〇パーセントに近い。それより、何よりも魅力的なのは、燃料を燃焼（光と熱を伴なう激しい酸化）させないことだ。

図は二五〇度C以下の、低温の酸水素電池の例である。燃料として水素を、酸化物として酸素を用い、電解液にリン酸の水溶液を用いる。反応が進むと、水ができるが、それを除くと電池は連続して運転で

きる。
最近は天然ガスと空気によるものも出来ている。
現状での最大効率は六〇〜七〇パーセントくらいである。
燃料電池の燃料に石炭ガスを用いるものは、近い将来、石炭汽力発電と対応できる程度に開発される可能性がある。つまり、ほとんど負荷が変化しない直流大電力の重工業用とか、電気事業のベース負荷用電源に使用されるかも知れない。
さらに、先述の直流送電を採用する場合、燃料電池による直流発電の特色が威力を発揮するかも知れない。
また、家庭用として、都市ガスやプロパンガスを用いて燃料電池で発電するのも、限定された目的に役立つであろう。
燃料電池は「個別電源時代」が訪れたときの最も魅力的な発電手段のようだ。

太陽エネルギー利用

太陽光による光電池つまり「太陽電池」が非常な勢いで開発され、実用化されている。
太陽から地球に放射されるエネルギーは、一平方メートルあたり平均して、一キロワット程度といわれるから、これを利用しない手はない。

その原理は先述のように、シリコン半導体のPN接合部に加わった光エネルギーによる起電力を利用するもので、蓄電池と組み合わせて使用する。

光エネルギーの変換効率は一五〜三〇パーセントくらいである。

ただ、現状では条件のよいときでも、受光面積一平方メートルあたり〇・一キロワットくらいだから当分は灯台とか、山の上の無線中継所などの固定装置が主な用途になろう。

しかし、他の発電方式と違って、ほとんど保守を要する部分がないし、消耗資材もいらない上、無限の太陽エネルギーを用いるので、将来かなり大きなマーケットを占めるであろう。

地球上空に打ち上げられた通信衛星の表面には、一万枚以上の太陽電池が実装されている。

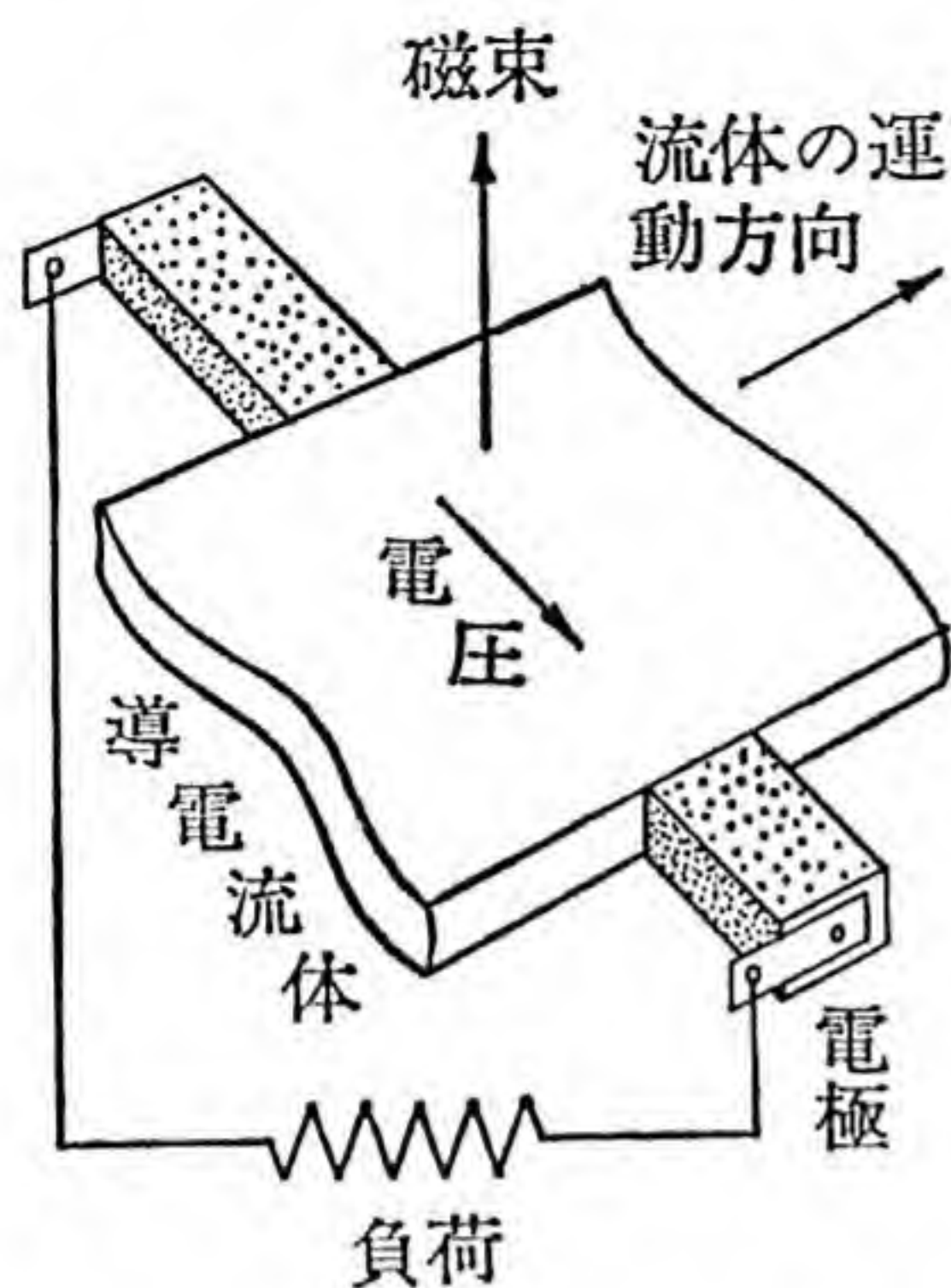
このように信頼性の高い太陽電池も、歴史は割合に浅い。

半導体の光起電力の効果は、照度計などでかなり以前から使われて来たが、はじめて電源として使われ出したのは一九五四年のことである。

日本で最初に用いられたのは一九五八年である。

プラズマ利用

イオンと電子が自由な形で共存するプラズマは時代の寵児だ。

その最大の用途は、さしあたりは直接発電の一つの「電磁流体発電」つまり、ＭＨＤ発電だろ

う。

これは、先述のリニア・ブームの一つとも言えるもので、普通の発電機を直線状に引き伸ばしただけで、「フレミングの右手の法則」そのままの電磁誘導作用による。

図のように磁界の中で直線状に導体を高速度で動かす。しかし、金属導体を連続して動かすことはできないから、導電性の気体であるプラズマを用いる。

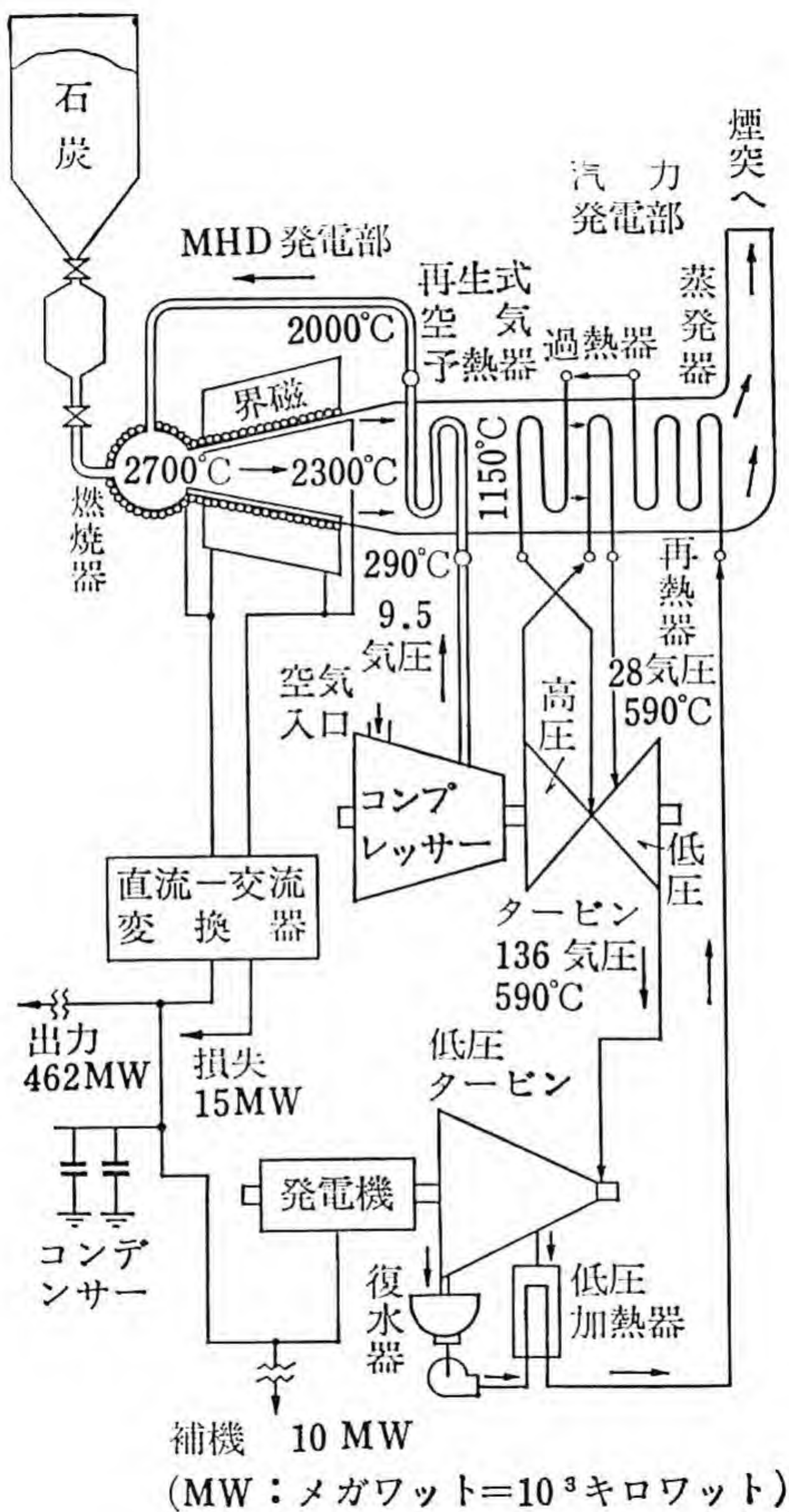
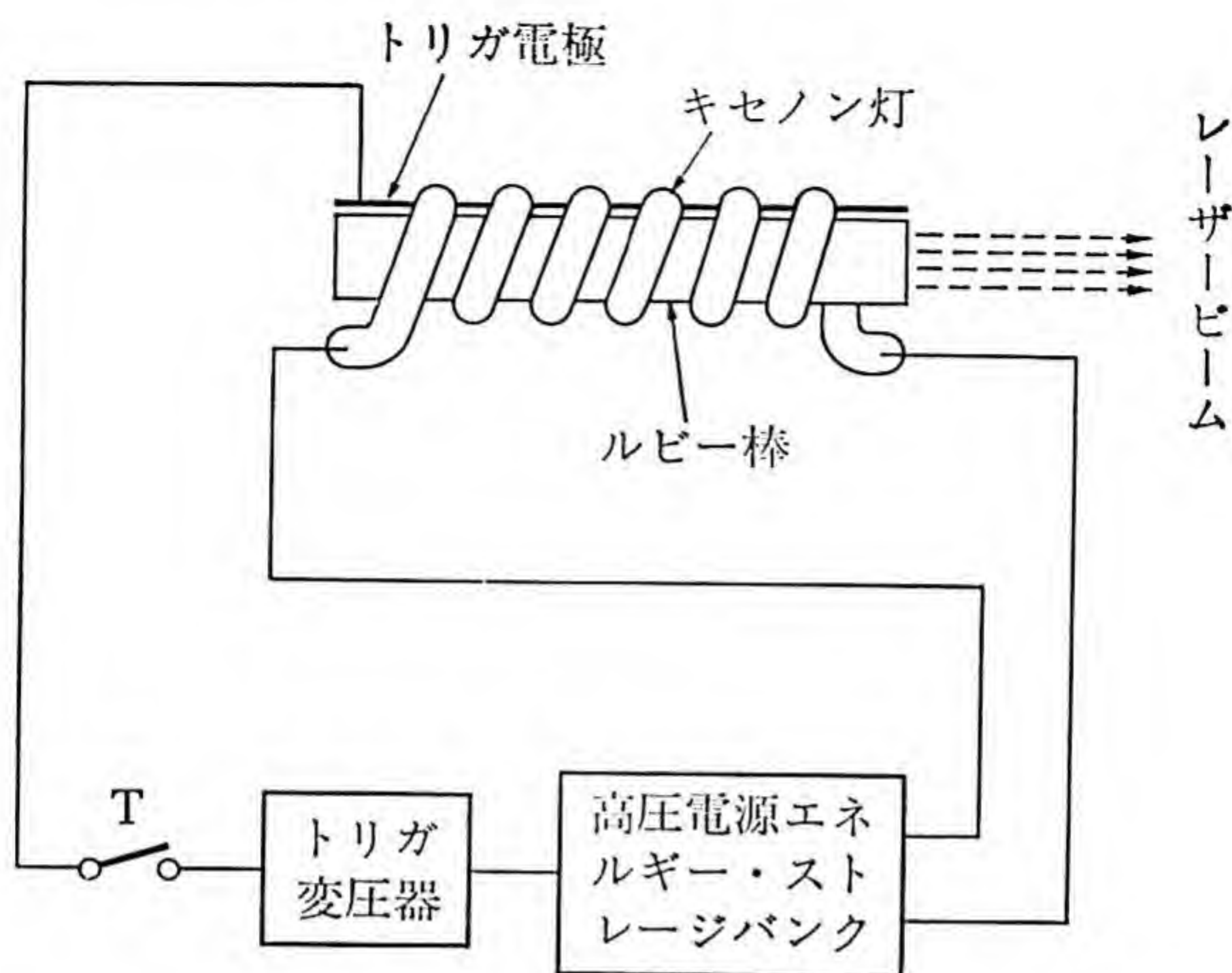
たとえば、燃焼器で石炭または石油の二七〇〇度C程度の燃焼ガスを作る。熱膨張と燃焼反応による体積変化により、ガスは高速気流となる。これに少量のカリウムまたはセシウムを混ぜると、ガスはプラズマ化し、導電性を帯びる。

磁束
流体の運動方向
電圧
導電流体
電極
負荷

MHD発電の原理図

MHD発電部を通ったガスはまだ二三〇〇度Cぐらいの温度があるから、これで普通の汽力発電所の熱源として利用できる。

このように、MHD発電は当面、汽力発電と組み合わせ、効率向上の手段として有効に働くだろう。

プラズマはまたジェット状にして、ジェット推進力に利用することも考えられる。

MHD汽力発電所の基本的構造

ルビーレーザー発振器

MHDとは
Magneto-hydro-dynamics
つまり「電磁流体力学」の略である。

レーザー利用

レーザーという名前を最近よく耳にされるであろう。

たとえば長さ一二・五センチメートル、直径〇・五センチメートルの合成ルビー（アルミナ結晶中に微量のクローム原子を含んだもの）をらせん状のキセノン灯で巻く。キセノン灯の強力な光（五六〇〇オングストロームの波長）によってクロム原子が励起し、ルビーから六九四三オングストロームの波長の赤色の光が出る。その波形はスパイク状のパルスとなる。

こうして出たレーザーの光は、波長が一定で、平行線で、光の波の山と山、谷と谷が歩調を揃えていてずれがなく、遠方までほとんど広がらずに進む。

つまり、光源から光エネルギーは損失なく集中して進む。そのため、宇宙通信にも使われる。適当な変調ができれば、一条の光で一〇〇万回線くらいのテレビ信号を送られるという。

リモコン・オート家事器具

両手に買物かごを持って台所の入り口に立つ。ドアが自動的に開く。

手をパンパンと叩くと、けい光灯がパッとついて、冷たい飲み物がさっと出て来る。「ハイ」と一言いうと、今晩の料理であるビフテキがうまく焼かれて出て来る。食後の果物ももちろん同じ要領だ。

一事が万事、家庭電化の未来像は、家庭のすべての電気器具が、人間の完全な召し使いとして忠実に、人間の言葉で、指令されることであろう。

人間の言葉は、人間―機械系において、すでに現在でもかなりの確実性で機械に命令できる段階にある。

リモコンの手段は、家庭の中だけでなく、出先からも器具に指令を与えるために使われるだろ

う。そして当分は、電話回線を使用することになろう。
このようにして、高度の電化の自動化にリモコンを加えると、これで家庭電化の山を上りつめたことになる。
ただ、人間は中々しっと深い動物だから、機械が人間に対して忠実に働くと、今度は人間が機械に使われているのではないかと考え出す。だから、どこかで人間が人間らしい働きをする余地を残しておかなければならない。
「台所でエプロン姿でかいがいしく働く奥さん姿」が見られなくなると、それはどんなに味気ないものか、ちょっと想像できないくらいである。
しかし、「リモコン」それ自体の手段は、いくら進んでも進み過ぎることはないようだ。
「ある範囲の限定された自動化作業」を、日常用語で命令できる日々が刻々近付いているようだ。

○オーム (Georg Simon Ohm, 1789～1854), ドイツ。
「オームの法則」を発見した
〔オーム＝Ω：抵抗の単位〕

2.電流と磁気の研究
○ファラデー (Michael Faraday, 1791～1867), イギリス。
電磁誘導の現象を発見した
〔ファラド＝F：キャパシタンスの単位〕

○ヘンリー (Joseph Henry, 1797～1878), アメリカ。
自己誘導現象を発見した
〔ヘンリー＝H：インダクタンスの単位〕

3.電磁波の利用へ
○マクスウエル (James Clark Maxwell, 1831～1879), イギリス
光の電磁波説をたて，電磁波の存在を予言した

○ヘルツ (Heinrich Rudolf Hertz, 1857～1894), ドイツ。
電磁波を発見した
〔ヘルツ＝Hz：周波数の単位〕
○マルコーニ (Guglielmo Marconi, 1874～1937), イタリー。
電磁波の利用に成功した

4.電子の研究
○トムソン (Joseph John Thomson, 1856～1940), イギリス。
電子を発見した

5.電気エネルギーの利用
○エジソン (Thomas A. Edison, 1847～1931)
電気エネルギーが人類に幸福をもたらすのに努力した

付　録－2

電気に関する主な発見発明者

電気の量の単位に，多くの発明発見者の名前がついている。ボルト，アンペア，オームなど……

次の表は，主として，本書の範囲での先人の名前と業績である

1.静電気から動電気へ

○フランクリン（Benjamin Franklin, 1706～1790），アメリカ

雷が静電気であることを実証した

○クーロン（Charles Augustin Coulomb, 1736～1806），フランス

「クーロンの法則」を発見した

すなわち，二つの帯電体，または磁極の引力または斥力(しりぞけ合う力）は，電気または磁気の量の積に比例し，距離の2乗に反比例する

〔クーロン＝C：電荷の単位〕

○ボルタ（Alessandro Volta, 1745～1827），イタリー．

静電気から動電気に移るいとぐちを作った

「ボルタの電池」を作った

〔ボルト＝V：電圧の単位〕

○エルステッド（Hans Christian Oersted, 1777～1851），デンマーク

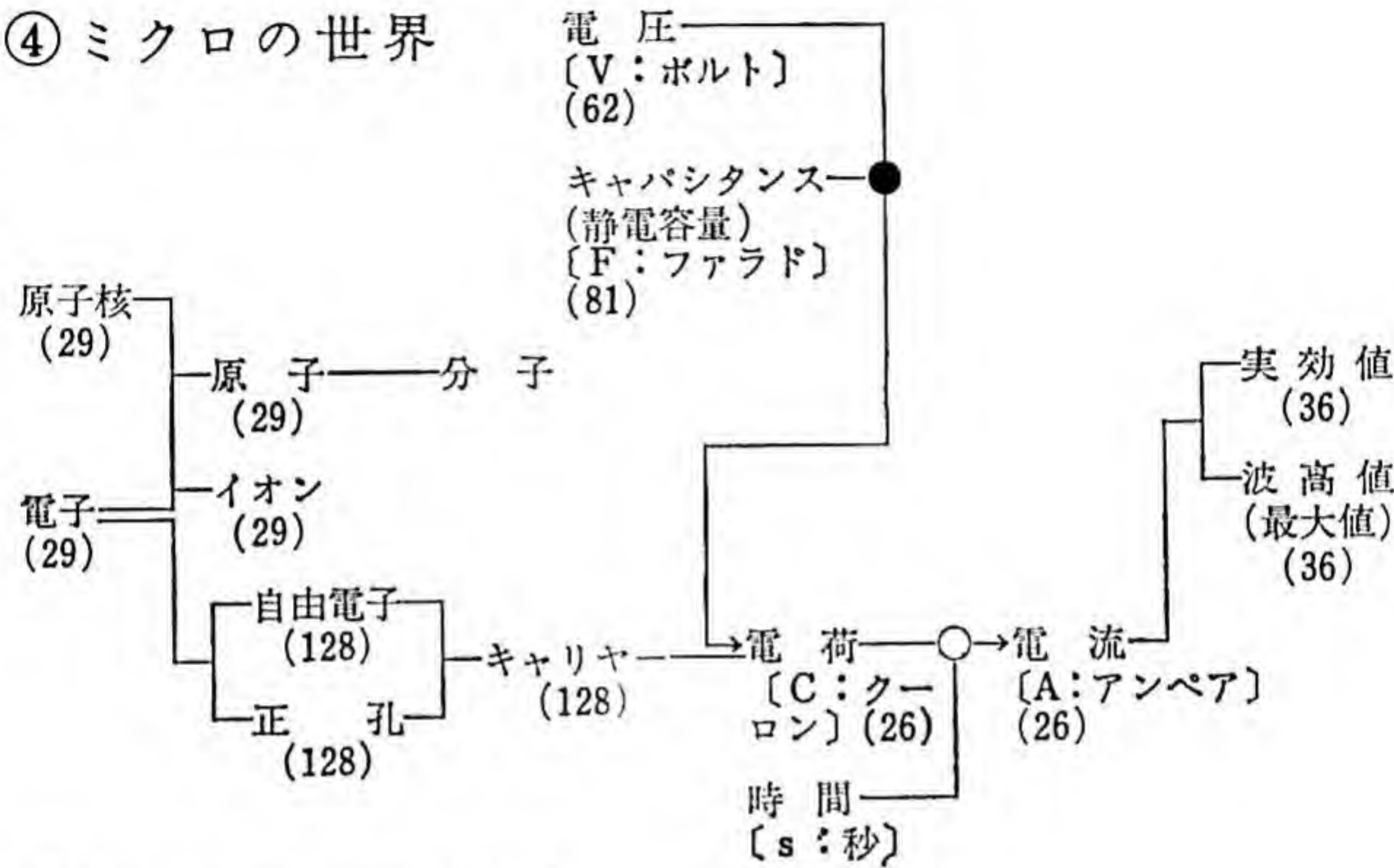
電流の磁気作用を発見した

○アンペア（André Marie Ampere, 1775～1836），フランス．

さらにくわしく，電流と磁気との関係を発見した

〔アンペア＝A：電流の単位〕

③電 磁 界

④ミクロの世界

⑤交流モーターの構成

モーターの種類	ステーター（固定側）	ローター（回転側）
同期モーター (48)	電源からの電流	直流電流→磁束 →回転力 (フレミングの左手の法則) (41)
誘導モーター (41)	電源からの電流→磁束	(フレミングの右手の法則) (24) →2次電流（誘導電流）→回転力 (フレミングの左手の法則) (41)

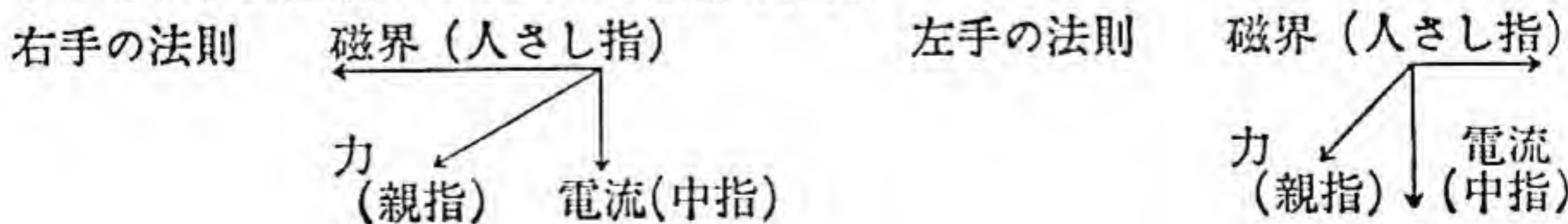
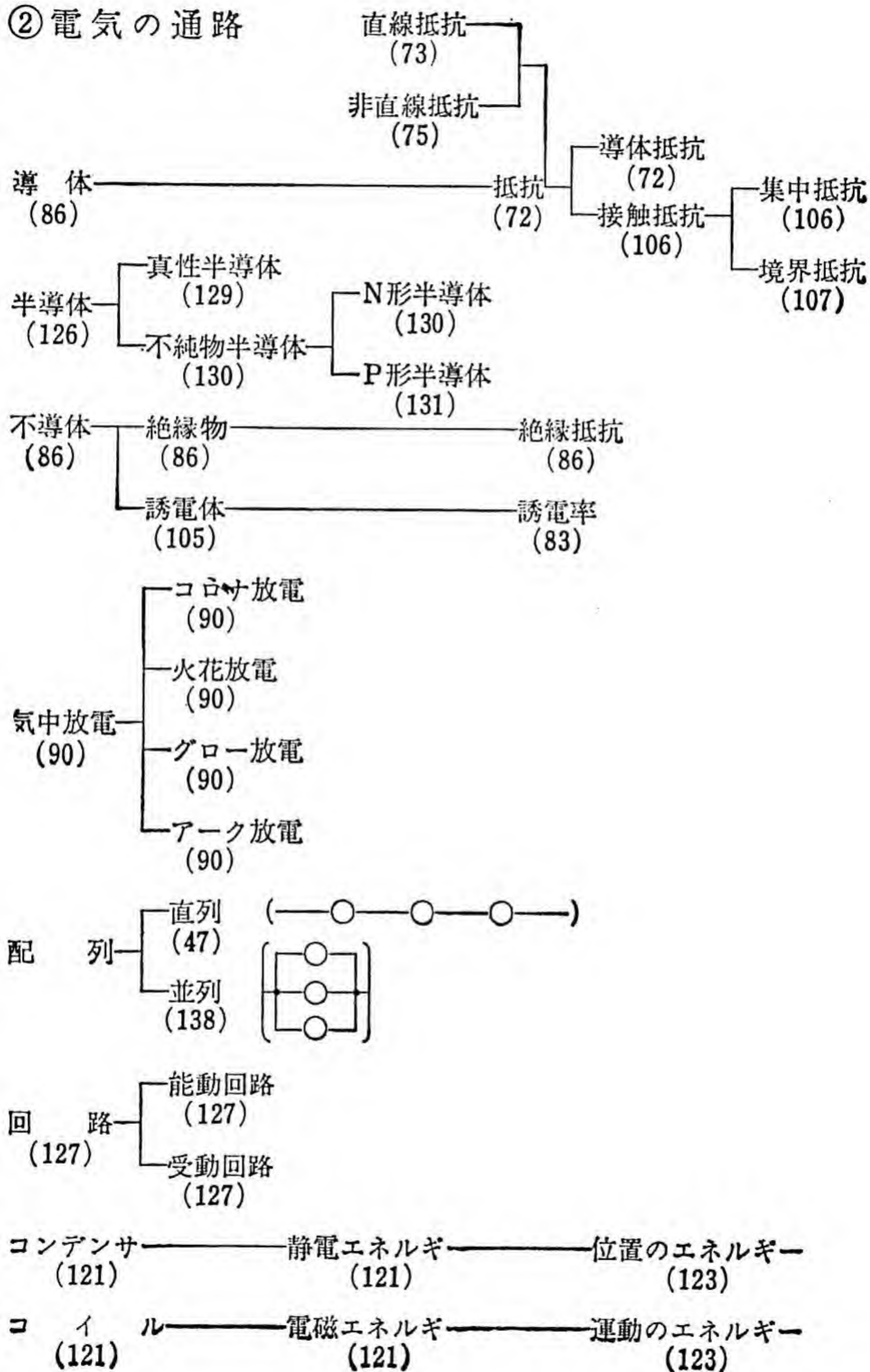
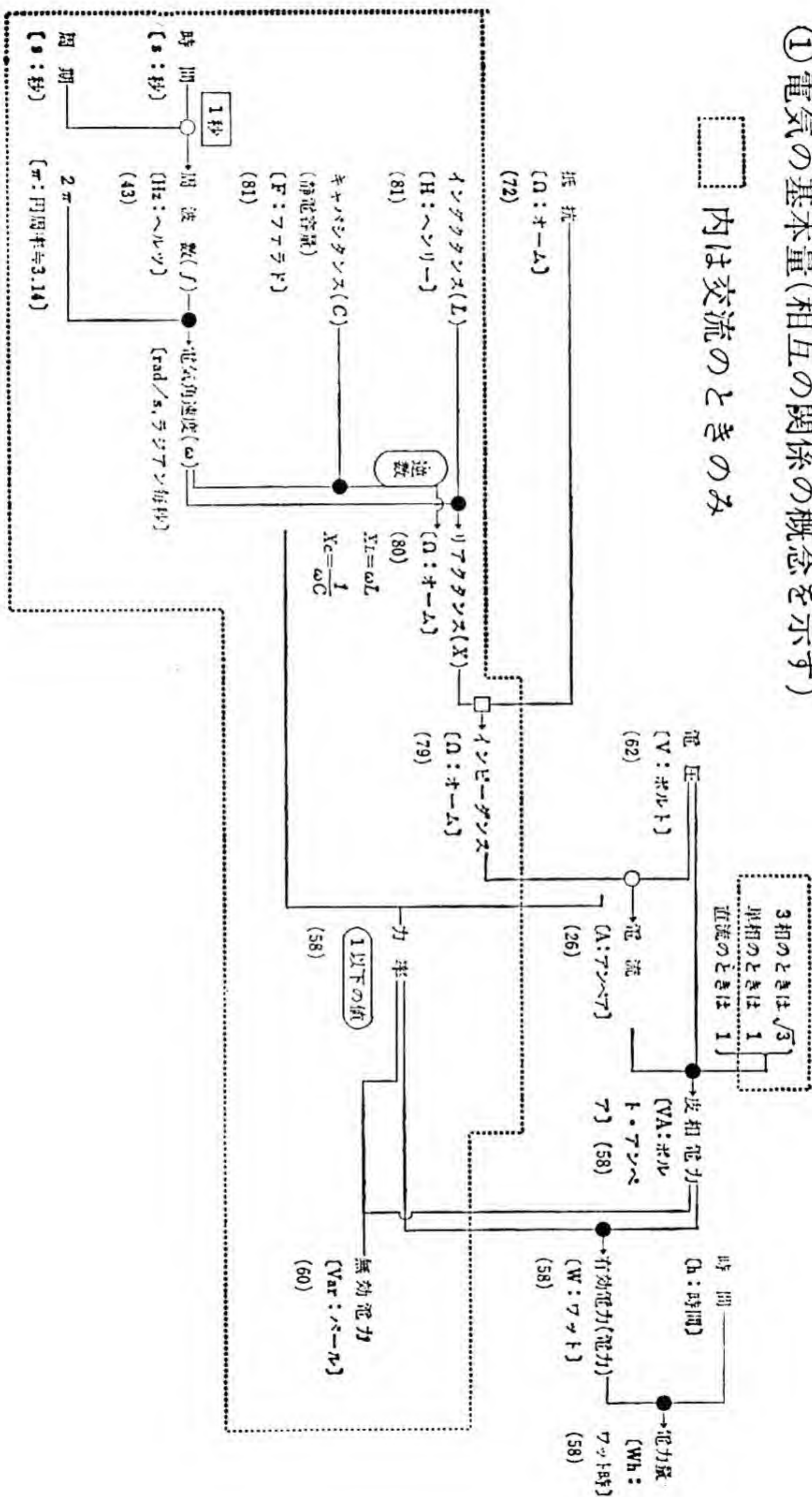
（注）小出力，低電圧の同期モーターではステーターとローターの役割が，この表の反対になる場合がある

フレミングの法則による三つの要素の方向

右手の法則　磁界（人さし指）　力（親指）　電流（中指）

左手の法則　磁界（人さし指）　力（親指）　電流（中指）

②電気の通路

直線抵抗
(73)
非直線抵抗
(75)
導 体
(86)
抵抗
(72)
導体抵抗
(72)
接触抵抗
(106)
集中抵抗
(106)
境界抵抗
(107)
半導体
(126)
真性半導体
(129)
不純物半導体
(130)
N形半導体
(130)
P形半導体
(131)
不導体
(86)
絶縁物
(86)
絶縁抵抗
(86)
誘電体
(105)
誘電率
(83)
気中放電
(90)
コロナ放電
(90)
火花放電
(90)
グロー放電
(90)
アーク放電
(90)
配 列
直列
(47)
並列
(138)
回 路
(127)
能動回路
(127)
受動回路
(127)
コンデンサ
(121)
静電エネルギ
(121)
位置のエネルギー
(123)
コ イ ル
(121)
電磁エネルギ
(121)
運動のエネルギー
(123)

①電気の基本量（相互の関係の概念を示す）

付　録－1

電気の主要用語

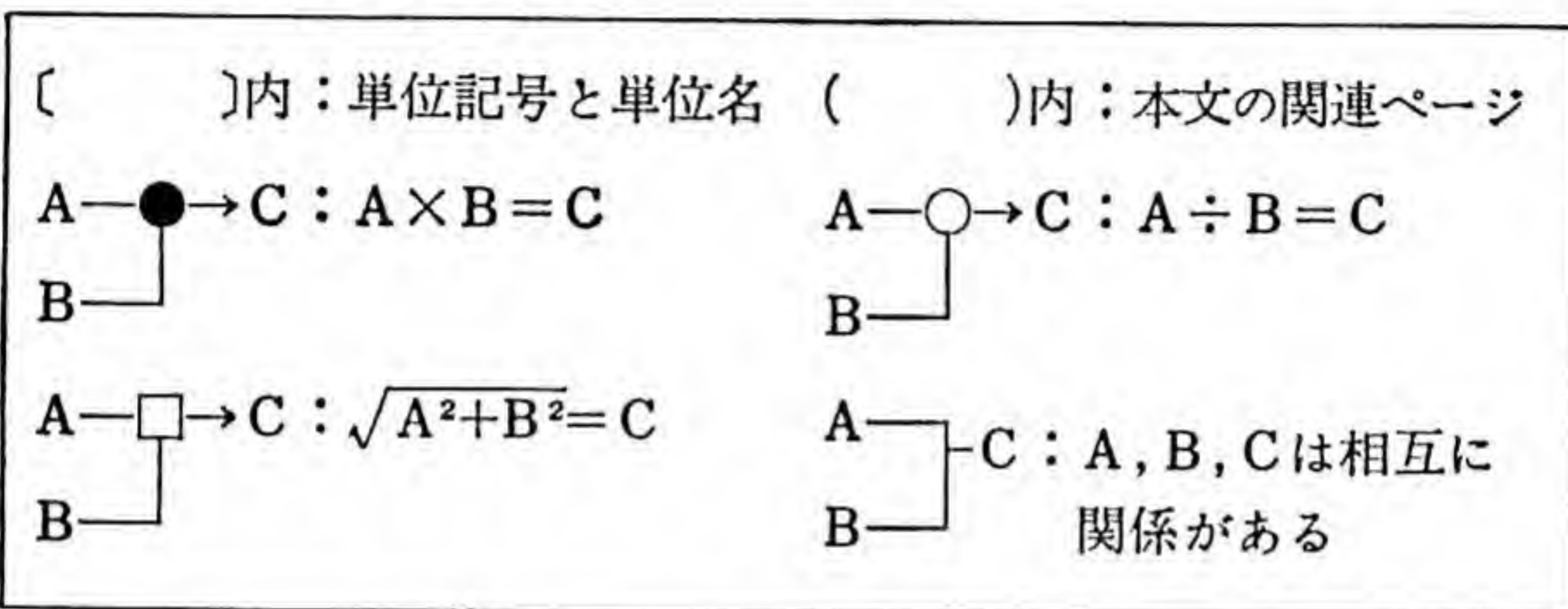
これだけはぜひ知って欲しいと思われる用語を系列図で示した。表現は次のとおり

〔　　　〕内：単位記号と単位名　(　　　)内：本文の関連ページ

A—●→C：A×B＝C
B—┘

A—○→C：A÷B＝C
B—┘

A—□→C：$\sqrt{A^2+B^2}=C$
B—┘

A—┐
　 ├C：A, B, Cは相互に関係がある
B—┘

単位の呼称について，特に大きいもの，小さいものを示した

倍　　数	呼　　名	記　号	例
10^6，　100万倍	メガ，またはメグ	M	MΩ (メグオーム)
10^3，　千倍	キ　ロ	k	kW (キロワット)
10^{-2}，100分の1	センチ	c	cm (センチメートル)
10^{-3}，千分の1	ミ　リ	m	mA (ミリアンペア)
10^{-6}，100万分の1	マイクロ	μ	μF (マイクロファラド)
10^{-9}，10億分の1	ナ　ノ	n	nm (ナノメートル)

長さについては，特に次の呼称がある

10^{-6}メートル	ミクロン	μ
10^{-10}メートル	オングストローム	Å

(注) たとえば　10^{-6}とは$\frac{1}{10^6}$のことである

科学をあなたのポケットに――発刊のことば

二十世紀最大の特色は、それが科学時代であるということです。科学は日に日に進歩を続け、止まるところを知りません。ひと昔前の夢物語もどんどん現実化しており、今やわれわれの生活のすべてが、科学によってゆり動かされているといっても過言ではないでしょう。

そのような背景を考えれば、学者や学生はもちろん、産業人も、セールスマンも、ジャーナリストも、家庭の主婦も、みんなが科学を知らなければ、時代の流れに逆らうことになるでしょう。

ブルーバックス発刊の意義と必然性はそこにあります。このシリーズは、読む人に科学的に物を考える習慣と、科学的に物を見る目を養っていただくことを最大の目標にしています。そのためには、単に原理や法則の解説に終始するのではなくて、政治や経済など、社会科学や人文科学にも関連させて、広い視野から問題を追究していきます。科学はむずかしいという先入観を改める表現と構成、それも類書にないブルーバックスの特色であると信じます。

ブルーバックス　B-141

電気に強くなる

インスタント電気学入門

1969年7月28日　第1刷発行
1992年1月10日　第48刷発行

著　者　橋本　尚（はしもと たかし）
発行者　野間佐和子
発行所　株式会社　講談社
東京都文京区音羽二丁目12—21
郵便番号　112-01
電話 03 (5395) 3524 (編集部)
03 (5395) 3626 (販売部)
03 (5395) 3615 (製作部)

本文印刷・豊国印刷　カバー，表紙・双美印刷　製本・中沢製本

ISBN4-06-117741-9　(科)

定価はカバーに表示してあります。

ブルーバックス既刊目録(II)

358 楽器の科学　橋本尚
363 「場」とはなにか　都筑卓司
367 ソフトウェア思考法　有沢誠
371 ホワイト・ホール　J・グリビン　山本祐靖訳
373 新しい科学論　村上陽一郎
374 生物はなぜ進化したか　浅間一男
376 銀河旅行　石原藤夫
380 「比較」統計学のすすめ　鈴木義一郎
385 実践的 植物検索小図鑑①春・初夏　石戸忠
387 マイコン・ソフトウェア入門　古賀義亮
389 脳をあやつる分子言語　大木幸介
390 砂漠化する地球　清水正元
392 数学ぎらいをなくす本　田村三郎
393 電子工作入門　西田和明
395 実践的 植物検索小図鑑②夏　石戸忠
396 エントロピーとは何か　堀淳一
401 実践的 植物検索小図鑑③秋・冬　石戸忠
405 創造性の自己発見　中山正和
408 数学質問箱　矢野健太郎
410 植物工場　高辻正基
414 化学ぎらいをなくす本　米山正信
416 触媒とは何か　宮原孝四郎・田中虔一
421 暗号の数理　一松信
422 四次元問答　都筑卓司
423 機械の再発見　中山秀太郎
424 植物の不思議な力=フィトンチッド　B・P・トーキン　神山恵三
429 ジャンボ・ジェットはどう飛ぶか　佐貫亦男
431 鉄道の科学　丸山弘志
435 数式を使わない力学　池田和義
436 電波に強くなる　徳丸仁
437 五次元の世界　K・A・ブランスタイン　宮崎忠訳
440 巨大惑星の宇宙　大家寛
441 遺伝子をあやつる　R・ハットン　長野・森久保訳
442 ゆらぎの世界　武者利光
446 新しい気象学入門　飯田睦治郎
447 トレーニングの科学　宮下充正
448 パズル・ショートショート　J・A・H・ハンター　藤村・田村訳
449 薬の効果・逆効果　佐久間昭
452 天体観測のすすめ　林完次
454 科学論文をどう書くか　末武国弘
455 現代数学の考え方　I・スチュワート　芹沢正三訳
457 生物質問箱　関口・岩波・草薙
459 パノラマ太陽系　松井孝典
460 インターフェロンとは何か　長野泰一
462 化学なんでも相談室　山崎昶
463 科学・頭の体操　C・P・ヤルゴスキー　芦ヶ原伸之訳
467 パラドックスの世界　田村三郎
468 釣りの科学　森秀人
469 生物が一日一種消えてゆく　小原秀雄
470 相対論的量子論　中西襄
471 振動とはなにか　R・ビショップ　中山秀太郎訳
473 タイム・ワープ　ジョン・グリビン　佐藤・田中訳
475 新しい免疫学　大原達
477 ゴルフの科学　畔上道雄
478 微積分に強くなる　柴田敏男
480 クォーク　南部陽一郎
482 生命の化学　スティーヴン・ローズ　丸山工作訳
483 物理トリック=だまされまいぞ!　都筑卓司
484 瞑想の科学　石川中
485 有機化学が好きになる　米山正信・安藤宏
486 あいまい工学のすすめ　寺野寿郎監修
487 ブラックホール物理学　今枝国之助・今枝真理
488 新・受験数学勉強法　根岸世雄
492 見てわかる力学　藤井清・中込八郎
493 第2版 コンピュータ用語辞典　A・チャンダーほか　坂井利之監訳
495 人間工学からの発想　小原二郎
496 知識工学入門　溝口文雄・北沢克明
498 関数とはなにか　権平健一郎・神原武志
501 オートバイの科学　島英彦
503 自転車の科学　服部四士主
504 遺伝子についての50の基礎知識　川上正也
506 数学アイディアパズル　藤村幸三郎・松田道雄
507 雲を読む本　高橋浩一郎
508 反物質の世界　広瀬立成
509 太陽系45億年の旅　岩崎賀都彰・宮本正太郎
510 星座早見検索小図鑑[上]春・夏　林完次
511 超自然にいどむ　ジョン・テイラー　渡辺正訳
512 日本語ワード・プロセッサー入門　脇英世
514 スペースシャトルの科学　新田慶治
516 宇宙の運命　リチャード・モリス　湯浅学監訳
517 ファイン・セラミックス　柳田博明

ブルーバックス既刊目録(III)

518 超光速粒子タキオン　本間三郎
523 シミュレーションの発想　中西俊男
524 コンピュータ時代の基礎知識　品川嘉也・品川泰子他
527 飛行機雑学事典　河崎俊夫
529 現代天文学小事典　高倉達雄監修
531 数学迷答集　田村三郎・船越俊介
532 推理小説を科学する　畔上道雄
539 レーザーの世界　J・ヘクトほか　井坂清訳
540 身近な科学ゼミナール　橋本尚
541 星座早見検索小図鑑[下]秋・冬　林完次
542 これからの宇宙論　松田卓也
544 マイコン小事典　日本マイコンクラブ編　渡辺茂監修
547 化学なんでも相談室 PART II　山崎昶
548 脳から見た男と女　新井康允
552 化学用語小辞典　J・ディンティス編　山崎昶訳
555 真空とは何か　広瀬立成・細田昌孝
556 あいまいさを科学する　林・坂本ほか
560 たのしい化学実験　坂上正信ほか
561 自動車雑学事典　樋口健治
563 電磁波とはなにか　後藤尚久
564 ビッグバン　佐藤文隆
568 放射能を考える　森永晴彦
569 毒物雑学事典　大木幸介
571 調査の科学　林知己夫
573 健康のためのスポーツ医学　池上晴夫
575 バイオテクノロジー　村上和雄
577 新しい人類進化学　埴原和郎

578 老化はなぜおこるか　藤本大三郎
580 身近な脳の話　品川嘉也編
582 DNA学のすすめ　柳田充弘
583 暦の科学　山崎昭・久保良雄
584 10歳からの相対性理論　都筑卓司
585 セラミックセンサー　柳田博明
586 食生活をデザインする　鈴木正成
588 自分でできる健康診断　石浜淳美・石浜貞
589 恐龍はなぜ絶滅したか　M・アラビーほか　中沢・萩原訳
592 数学歴史パズル　藤村幸三郎・田村三郎
593 スペース・ワープ　J・グリビン　山本祐靖訳
595 性と健康の事典　A・デモイヤほか　井坂清訳
596 わが輩は電子である　室岡義広
597 パソコンミュージック入門　矢矧晴一郎
599 フィールド写真入門　フィールドアイ
601 分子生物学入門　丸山工作
602 統計学で楽しむ　鈴木義一郎
605 脳の手帖　久保田競ほか
606 物理のABC　福島肇
607 続・太陽系45億年の旅　岩崎賀都彰
609 超高真空がひらく世界　小宮宗治
612 生物学で楽しむ　吉野孝一
613 粉体の科学　神保元二
614 改訂新版 電気の手帖　橋本尚
618 人はなぜヒトか　佐藤方彦
620 暮らしの中の化学質問箱　山崎昶
623 細胞を読む　山科正平

625 モノポール　広瀬立成
626 パソコン通信入門　脇英世
627 アモルファス　桑野幸徳
628 BASICプログラム入門　岡本敏雄
629 流れのファンタジー　流れの可視化学会編
630 生物は磁気を感じるか　前田坦
631 改訂新版 技術者のための経営学　大坪檀
632 10人の大数学者　F・G・アシャースト　好田順治訳
633 改訂新版 物性物理の世界　伊達宗行
637 教室では教えない植物の話　岩波洋造
639 金の雑学読本　崎川範行
640 プログラムが組めなくても使える パソコン入門　片貝孝夫
641 宇宙移民計画　A・T・ウルベコラ　木下高一郎訳
642 脳から心を読む　大木幸介
643 思考実験とはなにか　金子務
644 遺伝子が語る生命像　本庶佑
646 だれが宇宙を創ったか　R・ジャストロウ　趙慶哲訳
648 「ハートウェア」のすすめ　土屋和夫
649 セックス・サイエンス　石浜淳美
650 次世代タンパク質コラーゲン　久保木・畑・吉里
651 MS-DOSとは何か　脇英世
652 カオスとフラクタル　山口昌哉
653 勝つためのゲームの理論　西山賢一
655 リーダーシップの科学　三隅二不二
656 いたずら科学実験室　栗田常雄
657 まだわからないことがある　吉永良正
658 疲労と体力の科学　矢部京之助

ブルーバックス既刊目録(V)

番号	書名	著者
750	超高層ビルなんでも小事典	鹿島建設編
751	新しい家政学	宇野・神山 西川
752	聞き上手の心理学	渋谷昌三
753	宇宙のはてを見る	磯部琇三
754	コンピュータ・グラフィックスの世界	三井秀樹
755	これはびっくり! 化学マジック・タネ明かし	山崎昶
756	人材は「不良社員」からさがせ	天外伺朗
757	パソコン-28の基礎知識	高作義明
758	日本人の体質・外国人の体質	佐藤方彦
759	デジタル数学に強くなる	佐藤修一
760	観天望気のウソ・ホント	飯田睦治郎
761	麻酔の科学	諏訪邦夫
762	光で語る現代物理学	小山慶太
763	受験数学、これがバイブル	高野一夫
764	OS/2への招待	脇英世
765	小事典・野草の手帖	長田武正
766	新しい量子生物学	永田親義
767	調理のコツの科学	杉田浩一
768	はじめてナットク! 大腸・内幕物語	坂田隆
769	フランス革命と数学者たち	田村三郎
770	モーターのABC	見城尚志
772	身近なトレーニング学	宮下充正
773	電波は危なくないか	徳丸仁
774	野菜の博物学	青葉高
775	「病は気から」の科学	高田明和
776	コンピュータもびっくり! 速算100のテクニック	中村義作
777	10歳からのクォーク入門	都筑卓司
778	からだの中の元素の旅	吉里勝利
779	「2+2」を5にする発想	E・E・ハーディ 上出洋介訳
780	頭がよくなる栄養学	中川八郎
781	善玉ストレス・悪玉ストレス	平井富雄
782	右利き・左利きの科学	前原勝矢
783	怪談の科学PART2	中村希明
784	磁気光学の最前線	坪井泰住 日比谷孟俊
785	健康常識50の誤解	岡悍治
786	解ければ天才! 理科クイズ	権平健一郎 神原武志
787	今度こそ、やせられる	大村裕監修 大脇博善著
788	パソコンBASIC辞典	塩野修編著
789	超ひも理論と「影の世界」	広瀬立成
790	元気を保つ科学	N・M・アモーソフ 木下高一郎訳
791	イカはしゃべるし、空も飛ぶ	奥谷喬司
792	ニュートリノ天文学の誕生	小柴昌俊
793	カルシウムの驚異	藤田拓男
794	人間にとって森林とは何か	菅原聰
795	水のなんでも小事典	土木学会関西支部編
796	はじめてナットク! パソコン用語入門	林晴比古
797	円周率 π の不思議	堀場芳数
798	タイムマシンの作り方	ニック・ハーバート 小隅、高林訳
799	超新星1987Aに挑む	野本陽代 野本憲一監修
800	パソコン・ハードディスク入門	高作義明
801	SFはどこまで実現するか	ロバート・L・フォワード 久志本克己訳
802	死を見つめる心の科学	荒金天倫 高田明和
803	MS-DOS Ver.3.3を使いこなす	脇英世
804	地球の守護神=成層圏オゾン	島崎達夫
805	図説・電流とはなにか	後藤尚久
806	一歩立ち遅れた人のワープロ入門	平川敬子
807	地図の科学	堀淳一
808	科学者はなぜ一番のりをめざすか	小山慶太
809	パソコン統計学入門	芹沢正三
810	ロストワールド・科学の旅	金子史朗
811	機能性食品の驚異	石倉俊治
812	RNA学のすすめ	柳川弘志
813	相対論のABC	福島肇
814	方励之が語る宇宙のはじまり	方励之ほか 佐藤文隆ほか訳
815	スポーツ上達の科学	吉福康郎
816	犯罪の心理学	中村希明
817	心臓病から身を守る	岩根久夫
818	パソコン・ゲームの世界	梅崎隆夫
819	酸素はからだになぜ大切か	諏訪邦夫
820	血液の不思議	高田明和
821	バイオフィードバックの驚異	エルマー・グリーンほか 上出洋介ほか訳
822	一歩身近なサイエンス	Quark編
823	数学にどんどん強くなる	中村和幸
824	解ければ天才! 算数100の難問・奇問	中村義作
825	驚異の医療機械 マイクロマシン	藤正巖
826	ソリトンとは何か	坪井泰住
827	植物的生命像	古谷雅樹
828	パソコン・ホビー工作入門	西田和明
829	老化を防ぐ科学	藤本大三郎
830	体によい家・わるい家	吉川・諸角 松田
831	超ひも理論入門(上)	F・D・ピート 久志本克己訳

ブルーバックス既刊目録(VI)

番号	書名	著者
832	超ひも理論入門(下)	F・D・ピート 久志本克己訳
833	虚数iの不思議	堀場芳数
834	QuickC最初の一歩	高作義明
835	植物バイオの魔法	鈴木正彦
836	果物の博物学	渡部俊三
837	図説・なぜヘビには足がないか	松井孝爾
838	統計でみた選挙のしくみ	西平重喜
839	バイオテクノロジー用語小事典	渡辺格監修 DNA研究所編
840	科学・面白トピックス	馬場錬成 Quark編
841	量子の謎をとく	F・A・ウルフ 中村誠太郎訳
842	ビジネスマン・OLのためのストレス病読本	墨岡孝
843	生物物理の最前線	日本生物物理学会編
844	人体・ふしぎ発見	高田明和
845	数学・まだこんなことがわからない	吉永良正
846	酒飲みの心理学	中村希明
849	驚異の新塗料	鳥羽山満
848	親が知らない子どもの心	安藤春彦
849	コンピュータ物理の世界	神原武志ほか
850	肝臓病から身を守る	石井裕正
851	応用超伝導	岩田章
852	進化論が変わる	中原英臣 佐川峻
853	MS-Windowsとは何か	脇英世
854	磁石のナゾを解く	中村弘
855	先をよむ統計学	鈴木義一郎
856	靴の科学	石塚忠雄
857	化学とんち問答	米山正信
858	わが輩は酵素である	藤本大三郎
859	脳100の新知識	森昭胤編
860	改訂新版 人は放射線になぜ弱いか	近藤宗平
861	科学英語に強くなる	池辺八洲彦
862	対数eの不思議	堀場芳数
863	温泉はなぜ体によいか	植田理彦
864	体験・らくらくワープロ術	梅崎隆夫
865	量子宇宙をのぞく	佐藤文隆
866	就職試験の数学	中村和幸
867	砂漠のラクダはなぜ太陽に向くか?	坂田隆
868	数学パズル・20の解法	中村義作
869	人の一生の性	石濱淳美
870	三千年の知恵 中国医学のひみつ	小高修司
871	改訂新版 身近な血液ゼミナール	笹川しげる 渡部淳之助
872	記憶の大脳生理学	千葉康則
873	時間の不思議 タイムマシンからホーキングまで	都筑卓司
874	薬に賢くなる本	水島裕
875	これが正体 身のまわりの化学物質	上野景平
876	新しい摩擦の科学	広中清一郎
877	子供の脳の栄養学	C・キース・コナーズ 中川・松村訳
878	データで検証! 地球環境のウソ・ホント	大浜一之
879	船の一生	吉田文二
880	「病は気から」の科学 2	高田明和
881	橋のなんでも小事典	土木学界関西支部編
882	こんな野菜が血栓をふせぐ	山口・五十嵐 並木
883	心理学おもしろ入門	中村希明
884	美味しさを測る	都甲潔 山野善正
885	小事典・機械のしくみ	渡辺茂監訳
886	魚のおもしろ生態学	塚原博
887	リフォームの手帖	松田誠
888	臨死体験の不思議	高田明和
889	パソコンで挑む円周率	大野栄一
890	利己的遺伝子とは何か	中原英臣 佐川峻
891	こんなオフィスで仕事がしたい	ニューオフィス推進協議会
892	化学迷答集	山崎昶
893	らくらく相対論入門	エリック・チェイソン 久志本克己訳
894	教室ではおしえない 地球のはなし	島村英紀
895	小事典からだの手帖パート2	高橋長雄
896	ことわざの科学	橋本尚

はしもと・たかし　近畿大学電気工学科講師として一般電気工学、発変電工学、送配電工学などを講義する一方、技術コンサルタントとして東南アジアや韓国へも出向している。昭和四年大阪府の生まれ。昭和二十三年、現在の大阪府立大学の前身である国立大阪工業専門学校を卒業、関西配電に入社。関西電力宇治発電所長等を経る。黒部川第四発電所をはじめ各所の発変電所の設計・建設にたずさわった。工学の話をたとえ話を用いてわかりやすく説明するのが得意で、新聞や雑誌への寄稿も多い。

1　電気入門
2　交流の話
3　電圧・電流・抵抗
4　電気の通り路
5　電気エネルギーの正体
6　高周波の世界
7　電気のトラブル
8　家庭電化のポイント
9　未来の電化

定価740円
ISBN4-06-117741-9 C0254 P740E (7) (本体718円)